
This is the **published version** of the article:

Guerrero Soliva, Aitor; Pineda, Lydia. Sentinel 2 : un nou repte en la geoinformació multiespectral. 2016. 61 p.

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/188491>

under the terms of the  license

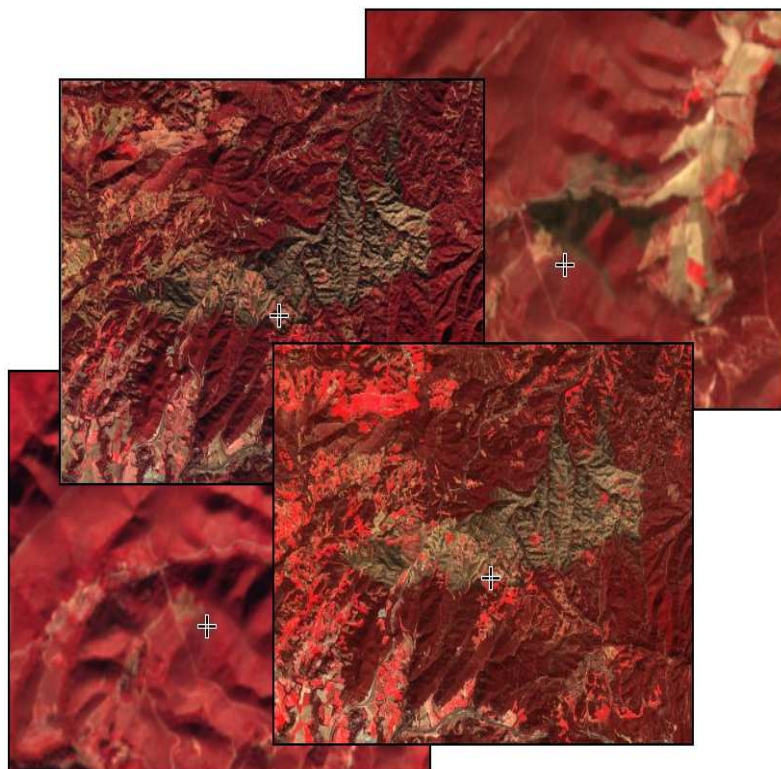
Màster en Tecnologies de la Informació Geogràfica, 18a. edició

Treball de Fi de Màster
Aitor Guerrero Soliva

SENTINEL 2:

Un nou repte en la Geoinformació multiespectral

15/07/2016



Tutora: Lydia Pineda (ICGC-CSPCOT)

Índex

1 Resum	5
2 Resumen	5
3 Abstract.....	6
4 Gestió del projecte	7
4.1 Coordinació i supervisió del projecte	7
4.2 Abast del projecte.....	7
5 Introducció.....	7
5.1 Objectiu del projecte.....	7
5.2 Desenvolupament del projecte	7
6 Marc institucional.....	8
7 Imatges multiespectrals: visió de conjunt	8
7.1 Introducció a la Teledetecció	8
7.1.1 Tipus de sensors.....	9
7.1.1.1. Sensors passius	9
7.1.1.2. Sensors actius.....	9
7.1.2 Tipus de satèl·lits segons les seves òrbites	10
7.1.3 Espectre electromagnètic.....	10
7.1.4 Resolucions	11
7.2 SENTINEL 2 i Programa COPERNICUS	12
7.2.1 Programa Copernicus	12
7.2.1.1. Component Espai	12
7.2.1.2. Component <i>in-Situ</i>	13
7.2.1.3. Principals aplicacions i polítiques	13
7.2.1.4. Clima i energia	13
7.2.2 SENTINEL 2	17
7.2.2.1. Plataforma i sensors.....	17
7.2.2.2. Accés a la informació	17
7.2.2.3. Característiques de les imatges.....	17
7.3 Aplicacions de SENTINEL 2	18
8 SENTINEL 2 a Catalunya.....	19
8.1 Introducció.....	19
8.2 SENTINEL 2 valor afegit a ICGC.....	19
9 Cas d'estudi 1: Incendis forestals	20

9.1 Presentació	20
9.2 Objectiu	22
9.2.1 Objectius principals	22
9.2.2 Objectius transversals	22
9.2.3 Aproximació a la recerca	22
9.2.3.1. Índex de severitat	22
9.3 Metodologia	23
9.3.1 Localització d'un incendi	23
9.3.2 Cerca d'imatges	24
9.3.2.1. Productes de SENTINEL 2	25
9.3.2.2. Imatge anterior a l'incendi	26
9.3.2.3. Imatge posterior a l'incendi	26
9.3.3 Programari	27
9.4 Implementació	27
9.4.1 Introducció de la georeferenciació a les imatges L2A	27
9.5 Resultats preliminars i representació	31
9.6 Treball de camp	36
9.6.1 Metodologia	36
9.6.1.1. Preparació del material	36
9.6.2 Resultats	39
10 Cas d'estudi 2: Estat de la Vegetació	42
10.1 Presentació	42
10.2 Objectiu	43
10.2.1 Objectiu principal	44
10.2.2 Objectius transversals	44
10.2.3 Aproximació a la recerca	44
10.2.4 <i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i>	44
10.2.5 <i>Modified chlorophyll absorption in reflectance index (MCARI)</i>	45
10.2.5.1. Clorofil·la: què és, com funciona i quina firma espectral té	45
10.3 Metodologia	45
10.3.1 Introducció	45
10.3.2 Cerca d'imatges	45
10.3.3 Programari	45
10.4 Implementació	46
10.4.1 NDVI	46
10.4.2 MCARI	48

10.5 Resultats preliminars i valors	49
10.5.1 NDVI	49
10.5.2 MCARI	49
11 Conclusions	51
11.1 Conclusions	51
11.2 Recomanacions i lliçons apreses	52
12 Referències bibliogràfiques / Web	53
13 ANNEX	55

1 **Resum**

Aquest document és el Treball de Fi de Màster del “Màster en Tecnologies de la Informació Geogràfica, 18a. Edició”, on es recull el resultat de les pràctiques realitzades a l’Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

Les imatges SENTINEL 2 (missió dins del programa COPERNICUS) són captades amb un innovador sensor multiespectral d’alta resolució i amb una àmplia cobertura de territori. Es presenta com una missió de continuïtat i ampliació de les missions SPOT (francesa) i LANDSAT (nord-americana). La novetat és la disponibilitat d’aquestes imatges amb cobertura a Catalunya des de finals de desembre del 2015.

En aquesta memòria es presenten les primeres proves realitzades a l’ICGC amb imatges SENTINEL 2 que intervenen en aspectes de la vigilància mediambiental, utilitzant-les en l’estudi d’Índexs, i en l’aplicació d’un d’ells en un projecte pioner per a l’ICGC, com és l’estudi de la Severitat d’incendis forestals.

L’anàlisi de dos casos d’estudi ha permès, per una banda, obtenir un índex de severitat per a un petit incendi ocorregut al gener del 2016 i la seva validació sobre el territori; i per una altra banda l’avaluació de l’evolució de l’estat de la vegetació en un gran incendi ocorregut l’estiu del 2015.

2 **Resumen**

Este documento corresponde al Proyecto Final del “Màster en Tecnologies de la Informació Geogràfica, 18a. Edició” donde se recoge el resultado de las prácticas realizadas en el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña.

Las imágenes SENTINEL 2 (misión dentro del programa Copernicus) són captadas con un innovador sensor multispectral de alta resolución y con una amplia cobertura de territorio. Se presenta como una misión de continuidad y ampliación de las misiones SPOT (francesa) y LANDSAT (estadounidense). La novedad es la disponibilidad de estas imágenes con cobertura en Cataluña desde finales de diciembre del 2015.

En esta memoria se presentan las primeras pruebas realizadas en el ICGC con imágenes SENTINEL 2 que intervienen en aspectos de la vigilancia medioambiental, utilizándolas en el estudio de Índices, y en la aplicación de uno de ellos en un proyecto pionero para el ICGC, como es el estudio de la Severidad de incendios forestales.

El análisis de dos casos de estudio ha permitido, por un lado, obtener un índice de severidad para un pequeño incendio ocurrido en enero del 2016 y su validación sobre el territorio; y por otro lado la evaluación de la evolución del estado de la vegetación en un gran incendio ocurrido el verano del 2015.

3 Abstract

This report is a Master Final Project of “Màster en Tecnologies de la Informació Geogràfica, 18a. Edició” which includes the results of the practices in Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

SENTINEL 2 images (mission within the COPERNICUS program) are taken with an innovative high-resolution multispectral sensor with a wide coverage area. It is presented as a mission continuity and expansion of missions SPOT (French) and LANDSAT (American). The novelty is the availability of these images operates in Catalonia since the end of December 2015.

This report presents the first tests in ICGC with SENTINEL 2 images involved in two aspects of environmental monitoring, using them in the study of indexes, and the application of one of them in a pioneering project for the ICGC, such as studying the severity of forest fires.

The analysis of two case studies has allowed, on one hand, to obtain an index of severity for a small fire occurred in January 2016 and its validation in the territory; and on the other hand the assessment of the evolution of the state of vegetation in a large fire occurred in the summer of 2015.

4 Gestió del projecte

4.1 Coordinació i supervisió del projecte

Aquest projecte ha estat desenvolupat per l'àrea de CSPCOT a l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) com a projecte final del màster. L'elaboració i coordinació del projecte ha estat dut a terme per Aitor Guerrero i Lidia Pineda com a experta en tècniques relacionades amb les aplicacions d'aquest projecte. El supervisor del projecte és Jordi Corbera, com a cap del departament d'Observació de la Terra a ICGC (CSPCOT).

4.2 Abast del projecte

El present document té com a objectiu millorar la comprensió de l'estat de la tècnica de les aplicacions i tecnologies en relació amb SENTINEL 2. És molt important entendre si SENTINEL 2 per si mateix té un potencial complet, o és més aviat una tecnologia que s'utilitzarà en conjunció amb un altre satèl·lit existent, imatges aèries o de terra i les dades de geoinformació. D'altra banda, també es concep per definir i avaluar dos escenaris resultants en una argumentació raonada sobre les que s'han d'adoptar per aconseguir un valor afegit clar.

5 Introducció

5.1 Objectiu del projecte

L'objectiu del projecte és l'anàlisi pràctic dels potencials de generació de geoinformació amb imatges SENTINEL 2. Se seleccionen dos escenaris diferents per tal d'estudiar les possibilitats d'anàlisi de les bandes, amb la utilització d'índexs (càlculs entre bandes), segons alguns temes d'interès a l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC): anàlisi d'àrees afectades per incendis forestals a Catalunya i evolució de la vegetació en aquestes àrees.

L'ICGC participa en un programa de mapeig d'incendis forestals amb el departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (DARP). En el marc d'aquest programa l'ICGC produeix cartografia a escala 1:50.000 dels incendis que es produeixen anualment a Catalunya des de 1986. El DARP ofereix la localització dels incendis i l'ICGC els mapes amb els límits i el càlcul de la superfície topogràfica que s'ha cremat amb tècniques de teledetecció. La superfície llindar per a què un foc sigui mapejat, ha canviat de 50 hectàrees en el període de 1986 a 2001, a 20 hectàrees entre 2002-2004, i 10 hectàrees des del 2005 fins al moment. Actualment l'ICGC està analitzant tant els incendis anuals com els incendis històrics, des de 1986, més grans de 10 ha.

És de gran interès l'anàlisi de l'adequació de les imatges SENTINEL 2, per la seva recent disponibilitat (des de desembre del 2015 a Catalunya) i les novetats que aporta en la resolució espectral i geomètrica, com s'explica als següents apartats.

5.2 Desenvolupament del projecte

A l'inici del projecte es va fer un primer esforç bibliogràfic. Temes com *"Sistemes d'Informació Geogràfica"*, *"Processament d'imatges"* i *"Més estadística espacial"* de Víctor Olaya i llibres sobre els *"Fonaments de teledetecció espacial"* de Emilio Chuvieco(1) van ajudar, en un

principi, a aprofundir sobre els coneixements previs ja adquirits en un passat. Tota la informació sobre el projecte Copernicus i el SENTINEL 2 també va ser recaptada. Mentre s'adquirien aquests coneixements vàrem començar a redactar la primera part del treball. Punts 6 i 7.

La descarrega d'imatges va ser el següent pas. Introduir-nos en la pàgina oficial de descàrrega de l'ESA, fer una bona cerca d'imatges pel treball, i solucionar les dificultats de georeferenciació de les imatges amb el GeoView, van dur més temps de l'esperat, però sense dubte van ajudar a adquirir coneixements.

El següent pas va ser bibliogràfic. En aquest cas, més vinculat amb un dels temes que es tracten al projecte, la severitat en els incendis i índex de severitat (dNBR). Una vegada localitzada la zona d'estudi, adquisició de coneixements sobre incendis, comportament, estructura, afectació i context històric, vàrem poder començar amb l'anàlisi de les imatges. Aquesta anàlisi el vàrem realitzar amb el programari QGIS i ArcMap. La metodologia va ser redactada mentre es feia aquesta anàlisi. Punt 8.

Vàrem continuar amb els índexs de vegetació. Per seguir amb la dinàmica del projecte, el primer que es va fer va ser buscar bibliografia i aprendre sobre el tema. Vàrem buscar un incendi important a Catalunya per poder realitzar l'avaluació de l'evolució amb diversos índexs de vegetació. Punt 9. Durant l'elaboració d'aquesta part del projecte vàrem fer una sortida de camp per poder validar sobre el terreny les dades adquirides.

Per últim es van realitzar les conclusions del projecte.

6 Marc institucional

En el Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC), núm. 6551, de 30 de gener del 2014, es publica la Llei 2/2014, de **creació de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) i la supressió de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) i de l'Institut Geològic de Catalunya (IGC)**. Aquesta nova institució entra en funcionament l'1 de febrer del 2014.

7 Imatges multiespectrals: visió de conjunt

7.1 Introducció a la Teledetecció

La teledetecció és la ciència i l'art d'obtenir informació sobre un objecte, superfície o fenomen a través de l'anàlisi de les dades adquirides per un dispositiu que no està en contacte amb l'objecte, àrea o fenomen que s'investiga. Aquest vocable deriva del francès "*telédétection*" traducció que prové de la paraula anglosaxona "*remote sensing*" o percepció remota.

Per a altres autors, la teledetecció és el "*registre d'informació d'un objecte sense entrar en contacte material amb ell en les regions del ultra violeta, visible, infraroig i microones, per mitjà d'instruments com escàners i càmeres localitzades en plataformes mòbils i l'anàlisi de la informació adquirida per mitjà de tècniques de fotointerpretació, interpretació d'imatges i processament de les mateixes*".

Des d'un enfocament físic, la teledetecció parteix del principi de l'existència d'una pertorbació (l'energia electromagnètica) que el sistema d'observació produeix en el mig. Aquesta energia es transmet mitjançant un receptor que capta un senyal que serà registrat, emmagatzemat i posteriorment interpretat.

Des del punt de vista pràctic, la teledetecció té com objectiu el reconeixement de les característiques de la superfície terrestre i dels fenòmens que en ella tenen lloc a partir de les dades registrades per sensors.

7.1.1 Tipus de sensors

7.1.1.1. Sensors passius

Els sensors passius es limiten a recollir l'energia electromagnètica que prové de la coberta terrestre, ja sigui reflectida pels raigs solars, o bé emesa en virtut de la seva pròpia temperatura. Podem diferenciar entre els sensors fotogràfics, optoelectrònics i d'antena o radiòmetres de microones. Ens centrarem sobretot en els optoelectrònics.

Sensors fotogràfics: aquests sensors basen el seu funcionament en la impressió de la imatge d'un objecte sobre pel·lícules fotosensibles, amb el suport d'un sistema òptic que permet controlar les condicions d'exposició.

Optoelectrònics: entre aquests sensors, els més habituals en teledetecció espacial són els exploradors o rastrejadors d'escombratge (*scanners*, figura 01) i exploradors d'embranchada o "*pushbroom*" (figura 02). El primer es basa en un mirall mòbil, que oscil·la perpendicularment a la direcció de la trajectòria, els permet explorar una franja de terreny a banda i banda de la trajectòria del satèl·lit. En el "*pushbroom*" s'elimina el mirall oscil·lant dels *scanners* gràcies a disposar d'una cadena de detectors que cobreix tot el camp de visió del sensor. Els detectors es van excitant a mesura que el satèl·lit avança, per tant, el sensor és capaç de captar les imatges durant una línia completa. Aquesta tecnologia permet tenir una millor resolució espacial i disminueix, a més, problemes geomètrics. Per últim, els tubs de vidre permeten obtenir fotografies en el interval espectral entre 0,35 i 1,1µm, amb gran resolució i sense la necessitat d'utilitzar una pel·lícula. La radiació incident es recull en una placa fotoconductora on es forma una rèplica de la imatge òptica. Així que la imatge és presa, es registra en una banda magnètica o es transmet a una estació receptora.

Radiòmetre de microones: és un sensor que opera en el rang de l'espectre corresponent a longituds d'ona llarga, entre 1 i 100 mm.

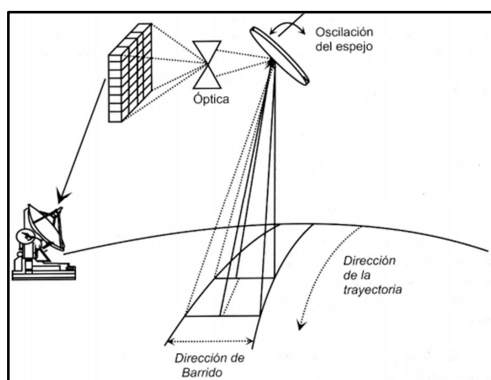


Figura 01: Imatge d'un sensor per "scanner"

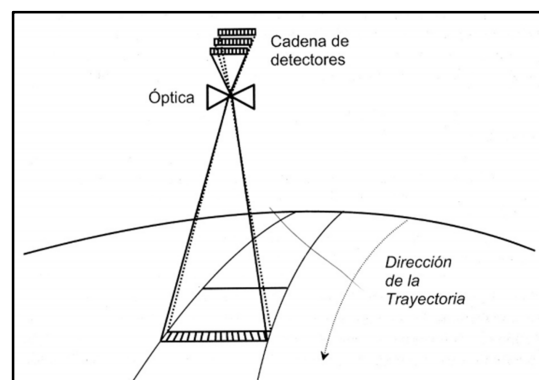


Figura 02: Imatge d'un sensor "pushbroom"

7.1.1.2. Sensors actius

Es sensors actius són els sensors capaços de generar la seva pròpia energia. Emeten un feix de llum que posteriorment, després de la seva reflexió sobre la superfície, recullen. Són el RADAR (*Radio Detection And Ranging*) i el LIDAR (*Light Detection and Ranging*)

- **Radar:** és un sistema que mitjançant radiacions electromagnètiques permet captar imatges en qualsevol condició atmosfèrica (fins i tot amb núvols).
- **Lidar:** és un sistema que permet obtenir un núvol de punts del terreny prenent-los mitjançant un escàner làser aerotransportat.

7.1.2 Tipus de satèl·lits segons les seves òrbites

- **Satèl·lits geostacionaris o geosíncrons:** es desplacen segons una òrbita equatorial, aproximadament a 36.000 km. A aquesta altura la velocitat del satèl·lit és la mateixa que la velocitat de rotació de la Terra. Per aquest motiu els satèl·lits pareixen estar fixes sobre un punt concret de la Terra i es mouen acompanyant a la Terra en el seu moviment. Aquesta òrbita és utilitzada bàsicament pels satèl·lits de comunicació (Figura 03).

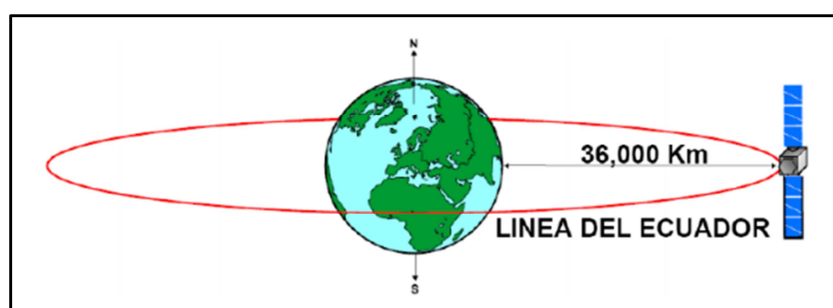


Figura 03: satèl·lits geostacionaris

- **Satèl·lits heliosíncrons:** se situen en una òrbita heliosíncrona, és a dir, el pla de l'òrbita del satèl·lit es manté fixe, en relació amb el pla orbital de la Terra al voltant del sol. Aquesta òrbita es situa entre els 300 i els 1500 km d'altitud. Per poder observar una àrea de la Terra tan gran com sigui possible, la inclinació de l'òrbita és gairebé de 90 graus, és a dir, quasi polar, de forma que la cobertura de la Terra visible pel satèl·lit s'estén entre els dos pols (Figura 04).

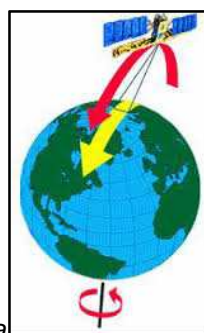


Figura 04: satèl·lits heliosíncrons

7.1.3 Espectre electromagnètic

La naturalesa de la radiació electromagnètica pot ser explicada a partir de dos models. El **model d'ona** assumeix que la radiació es produeix en forma d'ones que resulten d'oscil·lacions en els camps elèctrics i electromagnètics. Aquestes ones es desplacen a la velocitat de la llum. Les ones es defineixen fonamentalment per la seva longitud d'ona (o distància entre cada un dels pics de l'ona) i la seva unitat de mesura sol ser de l'ordre de 10^{-6} metres. El **model de partícules** assumeix que l'energia viatja com un flux d'elements discrets:

els fotons. L'energia transportada per cada fotó depèn de la longitud d'ona, d'aquest mode, els dos models es relacionen mitjançant l'equació:

$Q = (h \cdot c) / \lambda$, sent h la constant de Planck, c la velocitat de la llum i λ la longitud d'ona.

D'aquesta fórmula, dedueix que podem descriure qualsevol tipus d'energia radiant en funció de la seva longitud d'ona o de la seva freqüència. El conjunt de totes les longituds d'ona es denomina espectre electromagnètic. Dins de l'espectre electromagnètic es distingeix una sèrie de regions. Les més utilitzades per les diferents tècniques de teledetecció són la llum visible, l'infraroig, el tèrmic i les microones (radar).

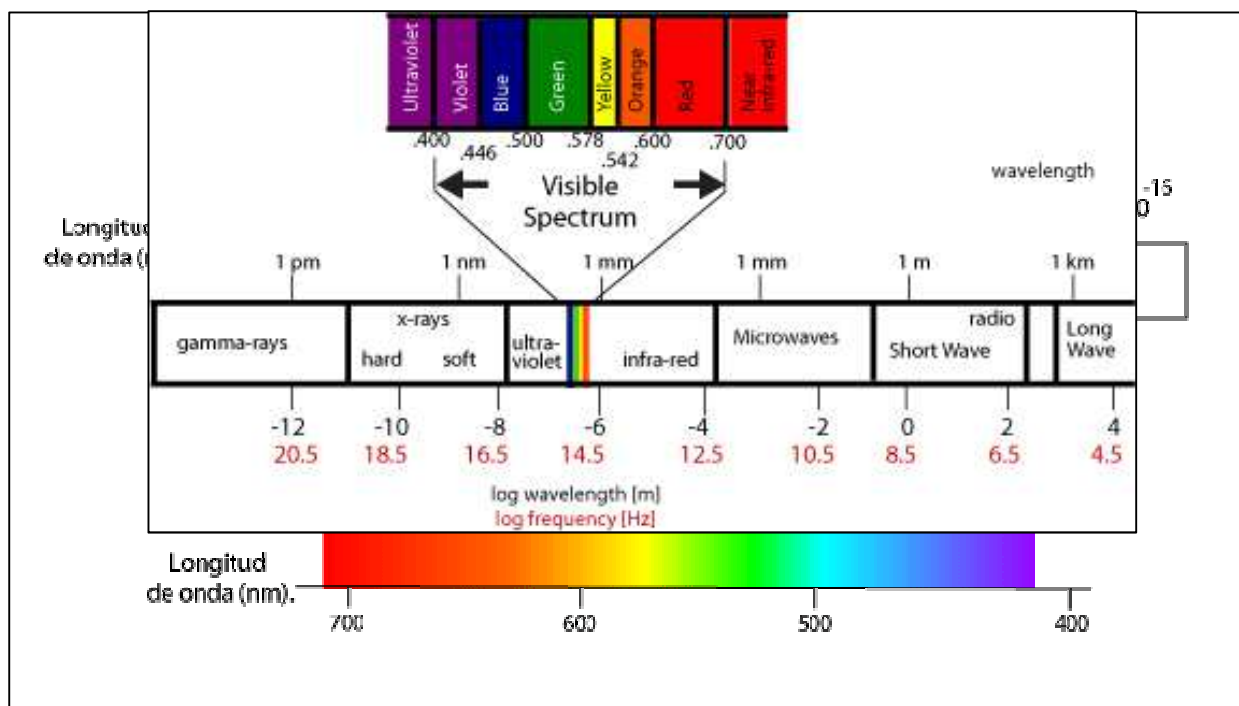


Figura 05: Imatge on es representa l'espectre electromagnètic

7.1.4 Resolucions

D'acord amb alguns autors, podem definir la resolució d'un sistema sensor com l'habilitat de registrar i discriminar informació de detall. Aquesta definició engloba diversos aspectes que mereixen comentaris amb més detall, en definitiva, aquest concepte de resolució implica, almenys, quatre manifestacions:

Resolució espacial: aquest concepte designa a l'objecte més petit que pot ser detectat pel sensor, és a dir, correspon a la mida de la mínima unitat informativa inclosa en la imatge, denominada píxel i es mesura en metres. Aquesta resolució té un paper protagonista en la interpretació de la imatge, perquè marca, en gran mesura, el nivell de detall.

Resolució espectral: indica el nombre i amplada de les bandes espectrals que pot discriminar el sensor. Un sensor serà més idoni com major nombre de bandes proporioni, ja que facilita la caracterització espectral gràcies a les diferents bandes. A més, convé que aquestes bandes siguin suficientment estretes, amb l'objectiu de recollir el senyal sobre regions coherents de l'espectre.

Resolució radiomètrica: fa referència a la sensibilitat del sensor, és a dir, a la seva capacitat per detectar les variacions en la radiància espectral que percep. Per als sensors optoelectrònics, el nombre de valors digitals de la imatge s'identifica amb la resolució radiomètrica. Avui en dia, la gran majoria de sensors treballen amb 256 nivells de píxels.

Resolució temporal: aquest concepte fa referència a la freqüència de cobertura que proporciona el sensor, és a dir, la periodicitat amb la qual el sensor adquireix imatges de la mateixa porció de superfície terrestre.

7.2 SENTINEL 2 i Programa COPERNICUS

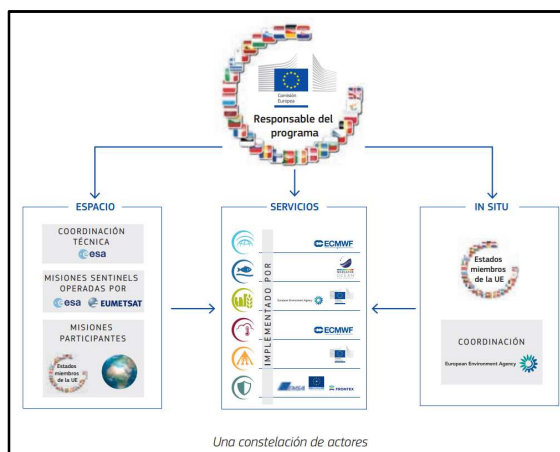
7.2.1 Programa Copernicus

Copernicus és un programa Europeu per monitorar la Terra, és el nou nom del programa per al seguiment de l'entorn global i seguretat, anteriorment conegut com GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) des de plataformes a l'espai.

Aquesta iniciativa va començar a ser liderada per la CE (Comissió Europea), en col·laboració amb l'ESA (Agència Espacial Europea) i l'EEA (*European Environment Agency*). En aquest moment (juny 2016) hi participen: els estats membres de la UE, la Comissió Europea, l'ESA, EUMESAT (*European Organisation for the Exploitation of METeorological SATellites*), JRC (*Joint Research Center*), EEA, Agència Europea per a la Gestió de la Cooperació Operativa en les Fronteres Exteriors dels Estats Membres de la Unió Europea (FRONTEX), EMSA (*European Maritime Safety Agency*), SatCen (*European Union Satellite Centre*), ECMWF (*European Centre for Medium Range Weather Forecast*), Mercator Ocean, etc.

El programa Copernicus es basa en un conjunt divers de sistemes de captació de dades: satèl·lits d'observació de la terra (*Space Component* o *Component Espai*) i sensors in-situ (estacions terrestres, sensors aeris i marítims). Es processen les dades i es distribueix la informació de forma fiable i actualitzada als usuaris i serveis relacionats amb temes ambientals i de seguretat.

La família de satèl·lits SENTINEL representa el segment espai de l'arquitectura Copernicus.



7.2.1.1. Component Espai

L'abril del 2008, l'ESA va adjudicar el contracte principal a EADS-Astrium GmbH, de Friedrichshafen, Alemanya per a proporcionar el primer SENTINEL 2 per l'observació de la terra per satèl·lit. En el programa de la missió de SENTINEL 2, Astrium és el responsable del disseny del sistema de satèl·lit i de la plataforma, així com per a la integració i proves dels satèl·lits. Astrium Tolosa subministra l'instrument multiespectral i Astrium Espanya és responsable de l'estructura del satèl·lit amb equipament tèrmic i el seu aprofitament. El nucli dels seus equipaments industrials es realitzen per Optronik Jena (Alemanya), Boostec (França), Sener i GMV (Espanya).

7.2.1.2. Component *in-Situ*

El component *in-situ* permet que les dades dels SENTINEL siguin d'adquirides de manera sistemàtica, processades i que es distribueixin. També inclou elements per al seguiment i control dels satèl·lits SENTINEL i també per a descarregar, processar i difondre les dades als usuaris. Compta amb mecanismes per a la vigilància i el control de la qualitat dels productes, així com per a l'arxiu de les dades. La infraestructura està distribuïda, el que significa que diversos centres es troben en diferents llocs, però units i coordinats. Tot i la complexitat del sistema, als usuaris se'ls ofereix un sol punt d'accés virtual. Les principals instal·lacions de la planta de seguiment del nucli SENTINEL són:

- FOS (*Flight Operation Segment*), responsable de totes les operacions de vol del satèl·lit, inclosa la vigilància i el control, l'execució de totes les activitats de la plataforma i el comandament dels horaris de càrrega útil.
- Les estacions de terra CORE, on les dades dels SENTINELS es generen gairebé a temps real. Una xarxa d'estacions terrestres de banda X permet l'enllaç de totes les dades del SENTINEL. Això es completa amb la utilització del relé EDRS (Satèl·lit Europeu de Dades).
- PACs (*Picture Archiving and Communication System*), on es realitza el processament de dades pels usuaris.
- PSM (Missió de Centres de Rendiment), que és la responsable del calibratge, validació, control de qualitat i l'avaluació del rendiment del sistema extern.
- POD (*Precise Orbit Determination*), on es fa ús dels receptors GNSS (*Global Navigation Satellite System*) dels SENTINELS per lliurar informació orbital necessària per generar productes.

Pel que fa el segment de col·laboració de terra podem dir que està destinat a l'accés complementari de les dades del SENTINEL i/o als productes de dades específiques o canals de distribució. Es compon d'elements finançats per tercers, és a dir, des de fora del programa de l'ESA / Copernicus EU, i proporciona el marc per a la cooperació internacional.

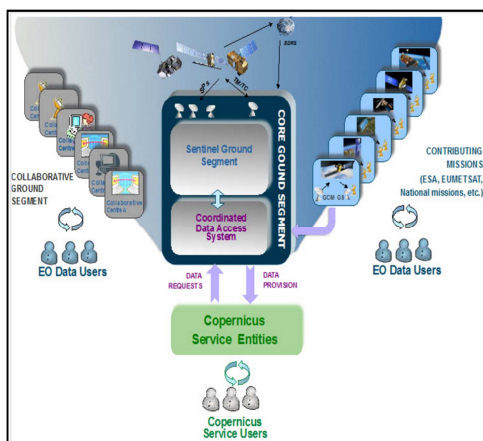


Figura 07: Imatge sobre l'arquitectura del component *in-situ* (anteriorment anomenat "segment terra")

7.2.1.3. Principals aplicacions i polítiques

Copernicus permet una millor comprensió de la nostra Terra. Els ciutadans europeus, investigadors, líders polítics, usuaris públics i privats, així com la comunitat científica pot beneficiar-se de tots els serveis oferts pel programa Copernicus. Alguns exemples són:

7.2.1.4. Clima i energia

La salut de la nostra Terra té un equilibri molt delicat que depèn dels corrents oceànics, el cicle del carboni entre atmosfera, hidrosfera, biosfera i litosfera i la quantitat de llum absorbida i la reflectida per la superfície terrestre. Copernicus ens ajuda a monitorar el canvi climàtic, ajudant a preparar i respondre als seus efectes i per facilitar la mitigació d'aquests. Alguns exemples:

- **Monitoratge climàtic i meteorologia, previsió, projeccions i prediccions**
Copernicus millora la capacitat de monitorar i prevenir el canvi climàtic. El major nombre de fonts de dades i producció de serveis basats en la modelització, integració i anàlisi de dades ens proporcionen aquesta capacitat. Un exemple d'això és el seguiment del gel en els pols, que ens dóna una idea de com s'està produint el desglaç amb el pas del temps.
- **Les energies renovables i una millor gestió dels recursos existents**
Reduir les causes de l'escalfament global i aprofitar recursos naturals ha de ser un ferm objectiu. Aprofitar la llum solar, les onades, el vent i l'aigua sembla una solució intel·ligent a aquest repte. Copernicus ens pot ajudar a planificar i gestionar els esforços per tal de satisfer els objectius. Un exemple podria ser el seguiment de l'atmosfera, predient el seu l'estat, sabent la quantitat de núvols i d'aerosols existents i per tant predir quina serà la radiació solar en una ubicació determinada. Un altre servei consisteix en la realització dels mapes eòlics que poden ajudar als desenvolupadors de parcs eòlics per seleccionar els llocs òptims de les noves instal·lacions.
- **Mitigació i adaptació**
Saber que l'ambient canvia ens ajuda a desenvolupar mecanismes per a la mitigació i alhora les estratègies d'adaptació.
Emergència i gestió de crisis
Els desastres naturals es produeixen cada vegada amb més freqüència, per tant afecten un major nombre de persones a Europa i a la resta del món. Copernicus ofereix serveis globals i operatius per proporcionar els primers avisos. La resposta d'emergència i la gestió de crisi ha de ser un factor important en el posicionament d'Europa com un actor global responsable.
Preparació, prevenció i recuperació.
Saber on estan les vulnerabilitats d'una ciutat ajuda a prendre mesures per reduir / resoldre els impactes dels desastres. El servei de Copernicus ofereix mapes que combinen informació de risc amb dades socioeconòmiques per donar suport a les activitats de preparació, prevenció i reducció del risc del desastre.
- **Activació i alerta primerenca a la crisi**
El servei d'emergència de Copernicus inclou el EFAS (*European Flood Awareness System*) que proporciona la previsió d'inundacions en tots els rius d'Europa a les agències nacionals de Protecció Civil. Igual que el sistema d'emergència Copernicus fa previsions sobre el risc d'incendi.

1.1.1.1.16.2.1.3.1 Salut pública

Avui en dia existeixen nombroses amenaces per a la salut dels ciutadans, per tant, hi ha molt a fer per les autoritats per poder minimitzar els seus efectes. Copernicus pot fer seguiments de fenòmens ambientals relacionats amb la salut, i per tant oferir informació rellevant per a activitats de salut pública.

- **Contaminació atmosfèrica**
La boira tòxica, fum i pol·len representen una amenaça creixent a la nostra salut. La respiració d'aire contaminat i/o amb grans quantitats de pol·len agreuja la nostra salut i augmenta les possibilitats de patir reaccions al·lèrgiques. Copernicus ofereix informació global, valuosa i actualitzada integral, sobre els components atmosfèrics i la qualitat de l'aire.

- **Bany d'aigües i la proliferació d'algues nocives**
Les algues són una forma important de vida a l'oceà, però quan la seva proliferació és molt elevada a causa de diversos factors ambientals el problema s'agreuja, ja que la toxicitat d'aquestes algues és elevada i pot provocar problemes de salut com erupcions a la pell o malalties en els humans i inclús causar la mort en algunes espècies marines i crustacis. Això provoca greus problemes ambientals en l'ecosistema marí, així com una elevada pèrdua econòmica en el sector de Turisme i l'aqüicultura. Copernicus proporciona informació addicional sobre l'estat del mar per tal de prevenir i mitigar els impactes negatius sobre la proliferació d'algues.
- **Esclat de malalties**
Entendre les variables climàtiques i ambientals és essencial per a traçar la possible evolució de les malalties i la seva conseqüent elaboració. Copernicus pot ajudar a localitzar les àrees més probables per a la propagació de malalties i l'extensió de les epidèmies. Mitjançant el control de paràmetres com la cobertura del sòl, les masses d'aigua, vent i pols, es podrà anticipar, alerta i mitigar els brots de les malalties.

1.1.1.1.26.2.1.3.2 Planificació urbana i territorial

És un fet que la població mundial augmenta, per tant, l'aglomeració urbana, com municipis, ciutats i àrees metropolitanes, estan augmentant la seva mida. La gestió sostenible del creixement, l'expansió de les zones urbanes, la planificació i connectivitat i la capacitat de resistència a les possibles amenaces naturals poden beneficiar-se dels serveis oferts per Copernicus.

- **Sòl urbà**
Com l'expansió de les ciutats és un fet, els planificadors urbanistes han de trobar un equilibri entre l'expansió i creació d'infraestructures i la degradació del medi ambient. El servei de vigilància terrestre de Copernicus pot ajudar a desenvolupar i planificar les decisions en aquesta matèria. Un exemple seria la creació de mapes sobre les cobertes del sòl a les ciutats que, combinat amb mapes socioeconòmics proporcionin informació detallada sobre quines poden ser les tendències de desenvolupament a les ciutats.
- **Cartografia dels riscos geològics per a la planificació urbana i un desenvolupament més segur**
La subsidència i l'elevació del terreny pot ser causada per petits moviments incrementals que cal conèixer. Aquests canvis poden representar un risc per a les infraestructures i els edificis d'una ciutat i per tant han de ser monitorats per poder obtenir informació per a les fases d'edificació, planificació i construcció durant la rehabilitació d'edificis.
- **Illes de calor urbanes**
S'espera que el canvi climàtic incrementarà el nombre i la intensitat de les ones de calor. Les zones urbanes estan particularment en risc, ja que les ciutats atrapen la calor en les seves estructures i superfícies de formigó. Durant l'onada de calor la demanda energètica incrementa substancialment. Això condueix a un increment de les emissions i per tant, de la contaminació de l'aire alhora que posa en risc la vida dels ciutadans. El sistema de Copernicus ajuda a controlar aquest fenomen i valorar possibles contramesures, com per exemple, la creació d'espais verds a les teulades o la creació de l'agricultura vertical.

1.1.1.1.36.2.1.3.3 Biodiversitat i protecció del medi ambient

La biodiversitat és valuosa en si mateixa i essencial per a la salut i la capacitat de resistència de l'entorn de la qual depenen els nostres recursos naturals.

- La protecció de la biodiversitat
La conservació de la biodiversitat és una tasca de gran importància. Gràcies a Copernicus es pot realitzar una gestió eficient i sostenible de les àrees protegides dels ecosistemes. La biodiversitat no pot ser mesurada des de l'espai però sí que es pot fer una avaluació de l'estat dels recursos.
- La desforestació i la desertització
Més del 40% del total d'Europa està coberta per boscos. Això representa un gran pulmó que ha de ser preservat contra la desertització, la desforestació i en conseqüència a la pèrdua d'hàbitats. La Unió Europea ha tingut un paper destacat en la protecció dels nostres boscos. Copernicus ofereix gestors forestals, i als especialistes mediambientals mapes d'alta resolució amb informació sobre el tipus d'espècies i densitat l'arbòria.
- Medi marí
La nostra societat globalitzada realitza més del 90% del comerç mundial per vies marítimes. A més, la indústria pesquera té un impacte significatiu en la biodiversitat marina. El control dels mars és fonamental per a protegir el medi marí i la sostenibilitat de les indústries dependents. Copernicus és capaç de controlar la pesca il·legal, vessaments de petroli i plataformes d'extracció d'hidrocarburs.

1.1.1.1.46.2.1.3.4 Transport i seguretat

Transport representa un important motor econòmic de la Unió Europea i la garantia de seguretat dels passatgers és, sens dubte, una prioritat per a les empreses, els governs i les autoritats locals. Copernicus ofereix nombroses solucions per a la gestió del transport i els problemes associats.

- El Transport aeri i les amenaces volcàniques
Com vam viure en l'any 2010, les erupcions volcàniques poden paralitzar totalment el sistema aeri arreu d'Europa. Això comporta grans pèrdues econòmiques, però també molts riscos per als ciutadans. Les carreteres, a més, es converteixen en un mitjà de transport perillós a causa de la mala visibilitat i un asfalt rellescós com a conseqüència de les cendres. Copernicus ofereix previsions de contaminants atmosfèrics com per exemple l'evolució dels núvols de cendra, que és rellevant per al trànsit de l'aire.
- Seguiment de mar de gel per a enviaments més segurs
Copernicus informa directament als vaixells sobre quina és la concentració de gel, l'extensió i el seu gruix. Per completar la imatge proporciona informació sobre la deriva del gel i el moviment dels icebergs. El seguiment permet la identificació de riscos i, per tant, permet obrir-se a noves rutes de comerç més segur.
- Suport a la lluita contra la pirateria
La pirateria representa una amenaça global per a la vida de passatgers marítims i per l'economia global. Per donar suport al servei Copernicus de seguretat de vigilància marítima han desenvolupat noves tècniques per detectar vaixells petits o ràpids, permetent-li proporcionar informació i el coneixement de la situació respecte a activitats il·legals al mar.

7.2.2 SENTINEL 2

La missió SENTINEL 2 constarà de dos satèl·lits, el primer ha estat llançat el 23 de juny del 2015, el SENTINEL 2A. A Catalunya es disposa d'imatges des de desembre del 2015. Es tracta d'imatges òptiques d'alta resolució per monitorar la superfície terrestre i donar continuïtat o complementar altres programes satèl·lit, com entre d'altres i de forma destacada el programa americà LANDSAT.

7.2.2.1. Plataforma i sensors

La plataforma de SENTINEL 2 és l'estructura sobre la qual es muntaran els instruments que componen la càrrega neta i els subsistemes del satèl·lit, incloent-hi el control del poder, les comunicacions amb terra o equips de navegació. La plataforma es va fer a Espanya per d'EADS CASA Espacio.

El SENTINEL 2 utilitza el AstroBus-L d'EADS Astrium, un estàndard modular CESS (Cooperació Europea per a Nivells de l'Espai). L'òrbita on el satèl·lit durà a terme les seves operacions serà l'òrbita LEO (Òrbita Terrestre Baixa) i té una vida útil de 10 anys. A més, depenent de la selecció de les diferents opcions de disseny estàndard, l'AstroBus-L pot operar en una varietat de diferents LEOs, tant en alçada com en inclinació. Una característica molt important de la AstroBus-L és el FDIR estàndard per a la detecció d'errors, aïllament i recuperació.

7.2.2.2. Accés a la informació

La política de dades lliures, ple i obert adoptat pel programa Copernicus preveu l'accés a tots els usuaris dels productes de SENTINEL.

7.2.2.3. Característiques de les imatges

El satèl·lit SENTINEL 2 proporciona mesures amb els següents resolucions:

- La resolució temporal del satèl·lit de forma individual és de 10 dies i el de la constel·lació combinada de 5 dies.
- La resolució espacial del SENTINEL 2 depèn de cada una de les bandes espectrals:

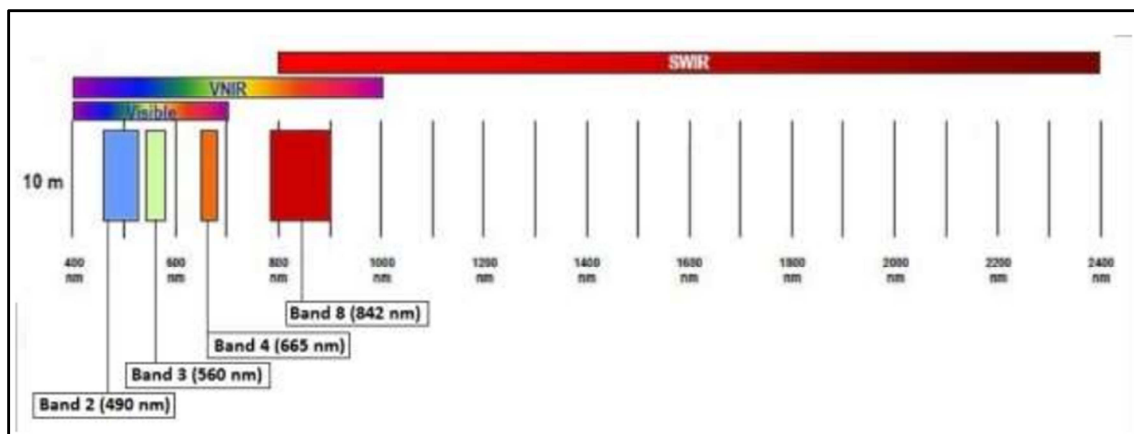


Figura 08: SENTINEL 2, 10 m de resolució espacial: B2 (490nm), B3 (560nm), B4 (665nm), B8 (842nm)

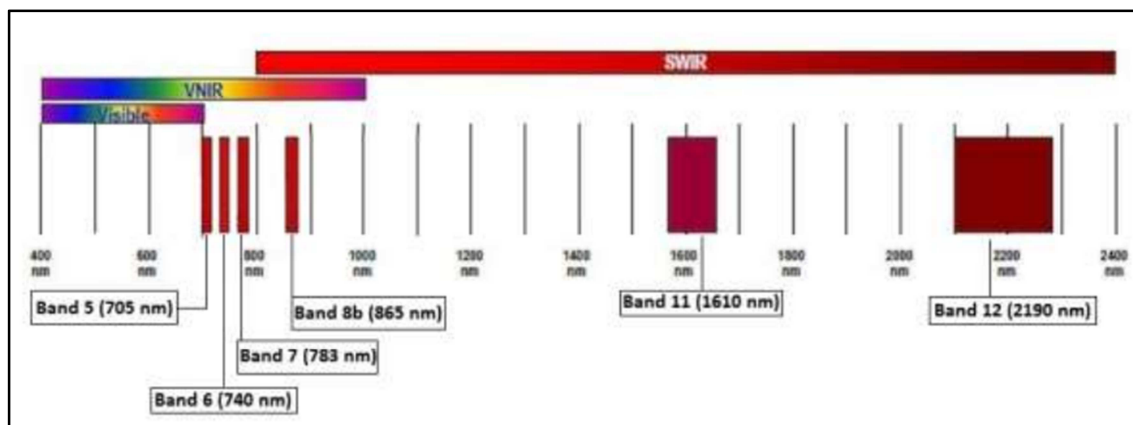


Figura 09: SENTINEL 2, 20 m de resolució espacial: B5 (705nm), B6 (740nm), B7 (783nm), B8b(865nm), B11 (1610nm), B12 (2190nm)

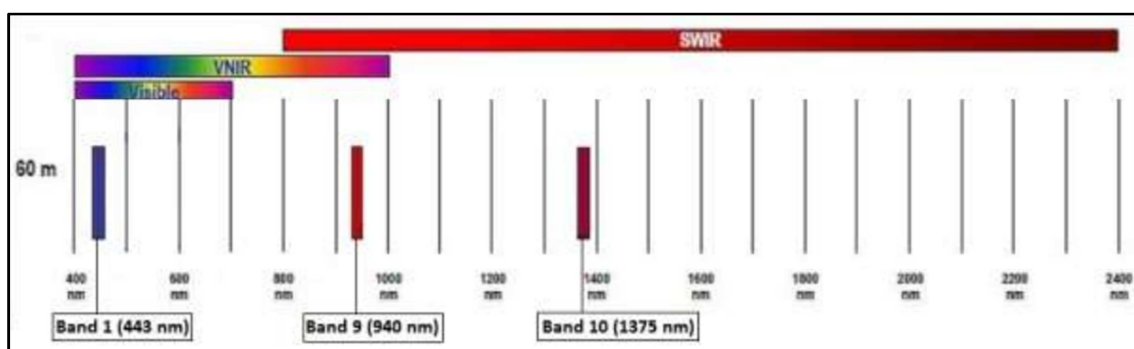


Figura 10: SENTINEL 2, 60 m de resolució espacial: B1 (443nm), B9 (940nm), B4 (665nm), B10 (1375nm)

7.3 Aplicacions de SENTINEL 2

El llançament del satèl·lit SENTINEL 2 és recent com per parlar de l' *State of the art*, però sí es pot fer una previsió de futur, si s'entén com una missió de continuïtat de la del LANDSAT. Tots aquells programes europeus amb ús d'imatges LANDSAT trobaran continuïtat i millora amb SENTINEL 2 gràcies a l'augment de la seva resolució radiomètrica i geomètrica respecte als de LANDSAT i SPOT. A més del monitoratge de la cobertura terrestre i dels seus canvis, permetrà avaluar paràmetres per a:

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), *Leaf Area Index (LAI)*, *Chlorophyll Index (CI)*, *Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI)* entre d'altres per al monitoratge de la coberta vegetal i vigilància agrícola, així com el control de la fertilització i els trets fenotípics de les plantes. Monitoratge dels boscos per controlar la desforestació-desertificació, incendis, talcs indiscriminades. Es podrà vigilar els canvis en els usos del sòl i monitorar les costes i les aigües interiors.

Descripció	LANDSAT 1-8	SPOT	RAPIDEYE	SENTINEL 2
Vida de la missió	1972-actualitat	1986-actualitat	2009-actualitat	2015-actualitat

Instrument principal	Scanner	Pushbroom	Pushbroom	Pushbroom
Repetició cicles (dies)	16	26	diari	5*
Ample captura (km)	185	2x60	77	290
Bandes espectrals	7	4	5	13
Resolució espacial (m)	30, 60	2.5, 10, 20	5	10, 20, 60
Cost	Gratuït	Pagament	Pagament	Gratuït

*Configuració de 2 satèl·lits, el segon es posarà en òrbita dins el 2016

Taula 01. Comparació de les característiques principals de les imatges de diferents satèl·lits (extreta del treball d'Andrés Alejandro León Taquíu "Producto SENTINEL 2" de Lima, Perú, 2015)

8 SENTINEL 2 a Catalunya

8.1 Introducció

L'ICGC ha desplegat un servei per a facilitar la utilització de les imatges recollides pel satèl·lit SENTINEL 2A. Es generarà una cobertura mensual (sempre que la meteorologia ho permeti i es disposi d'imatges captades pel satèl·lit per fer-ho) i es distribuirà en dos productes de 3 bandes (RGB i infraroig color-IRC) que seran ortoimatges resultants del mosaic d'imatges de les dues òrbites que cobreixen Catalunya, amb una Mida del Píxel al Terra (MPT) de 10 metres.

L'ICGC facilita la utilització de les ortoimatges generades mitjançant un WMS doble: d'una banda, dues capes (una RGB i una altra IRC) amb el paràmetre TIME habilitat i, d'altra banda, tantes capes RGB i IRC com ortoimatges de mesos diferents s'hagin generat.

També s'ha implementat un comparador d'ortoimatges SENTINEL 2 de Catalunya, que possibilita la visualització de diferents ortoimatges mostrades en diverses sub-finestres (inicialment quatre), aplicant a totes elles, de forma sincronitzada, la mateixa zona seleccionada per l'usuari (el mateix zoom i scroll). Inicialment es mostren vistes globals de Catalunya dels dos productes generats (RGB i IRC) per a dos mosaics temporals complets, corresponents als mesos de desembre del 2015, i març i abril del 2016.

En el marc de facilitar la utilització de les imatges SENTINEL 2, des del web de l'ICGC també es poden descarregar totes aquestes ortoimatges, tant a 8 bits com a 16 bits.

8.2 SENTINEL 2 valor afegit a ICGC

Les imatges SENTINEL 2 suposen un avanç dins de les imatges de lliure distribució, pel seu augment en la resolució geomètrica i espectral de les imatges, pel que fa a l'ICGC permetrà continuïtat i millora dels projectes que es duen a terme fins ara amb imatges LANDSAT, així com explorar altres explotacions de les imatges.

Programes ICGC (OT)	Estadi a ICGC	Metodologia actual	Aportacions i/o encaix SENTINEL 2
Agricultura de precisió França	Programa instaurat	Sensor AISA	--

		Imatges SPOT (4 bandes, 10-20 m)	13 bandes (estudi aplicabilitat amb 10 b), 10-20 m
Agricultura de precisió Catalunya	Recerca	Sensor AISA	--
		Imatges SPOT (4 bandes, 10-20 m)	Augment resolució (10 m) i nombre bandes
Delimitació Àrees Incendis Forestals	Programa instaurat	Família LANDSAT	Augment resolució (10 m) i nombre bandes
Severitat Àrees Incendis Forestals	Recerca	LANDSAT 7 / 8	Augment resolució (10 m) i nombre bandes
Monitoratge Àrees Incendis Forestals	Recerca	LANDSAT 7 / 8	Augment resolució espectral
Mapes de Cobertes (Land Cover)	Programa instaurat	Ortofotomapes, fotointerpretació	Augment resolució (10 m) i nombre bandes
	Recerca	Landsat 7 / 8	Proves obtenció alguna llegenda molt general (4 classes) amb processos semiautomàtics
	Recerca	Landsat 7 / 8	Proves alguna coberta concreta
Local Climate Zones	Programa pilot	LANDSAT 7 / 8	Augment resolució (10 m) i nombre bandes

Taula 02: Valor afegit del SENTINEL 2 a l'ICGC

**En l'actualitat s'està portant a terme un programa de recerca "LIFE FUTUR AGRARI" amb SENTINEL 2 i el sensor AISA.*

9 Cas d'estudi 1: Incendis forestals

9.1 Presentació

El foc és una reacció química exotèrmica auto-alimentada d'oxidació ràpida amb emissió lluminosa. Tots els focs són resultat d'un procés químic que es produeix quan concorren tres elements imprescindibles: combustible, calor i comburent. Quan el foc es desenvolupa sense cap tipus de control en l'espai i en el temps, es parla d'incendi.

A més, el comportament d'un incendi pot variar molt segons quins siguin els factors que intervenen. Així doncs, els factors climàtics com la pluja o la temperatura, factors biològics com la inflamabilitat o factors topogràfics com pendent i l'orientació, fan que un incendi pugui ser molt més sever que un altre incendi amb factors diferents.

Actualment, a la regió mediterrània, els incendis superiors a 50 ha representen més del 75% de la superfície cremada, tot i que només equivalen al 2,6% del nombre total d'incendis forestals (Font: IDESCAT).

La resposta dels països tecnològicament desenvolupats davant d'un Gran Incendi Forestal (GIF) són realment limitades, ja que la capacitat de control d'aquests incendis s'ha vist superat per fronts de foc d'intensitat i velocitat molt elevats. Les fortes inversions redueixen els focs de mitja i baixa intensitat, mentre que els més intensos cremen lliurement el paisatge. L'estratègia de millora i increment dels mitjans d'extinció ha donat com a resultat, un escenari en què els valors de superfície cremada són continguts en la majoria dels anys, però tenim anys negres on en nombre d'hectàrees cremades és més elevat. Per tant, el problema radica en aquells anys on es concentren condicions atmosfèriques adverses i/o seques, i que generen una gran quantitat de combustible vegetal.

Pel que fa a Catalunya, els incendis forestals i la superfície cremada han disminuït des del 1970 segons un estudi liderat per la UB (*Universitat de Barcelona*) i el CNR, Itàlia (*Consell Nacional de Recerca*) i publicat en l'article TURCO, Marco, et al. Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment. *Climate change*, 2014, 125. 3-4: 369-380 (3), a la revista científica *Climate Change*. Malgrat que l'augment de la superfície de bosc, l'augment de les temperatures i altres variables climàtiques han produït un augment en el risc d'incendis, hi ha hagut un descens produït gràcies a les mesures de gestió i a les campanyes de prevenció i conscienciació de la població. En la següent gràfica podem observar el nombre d'incendis totals per any.

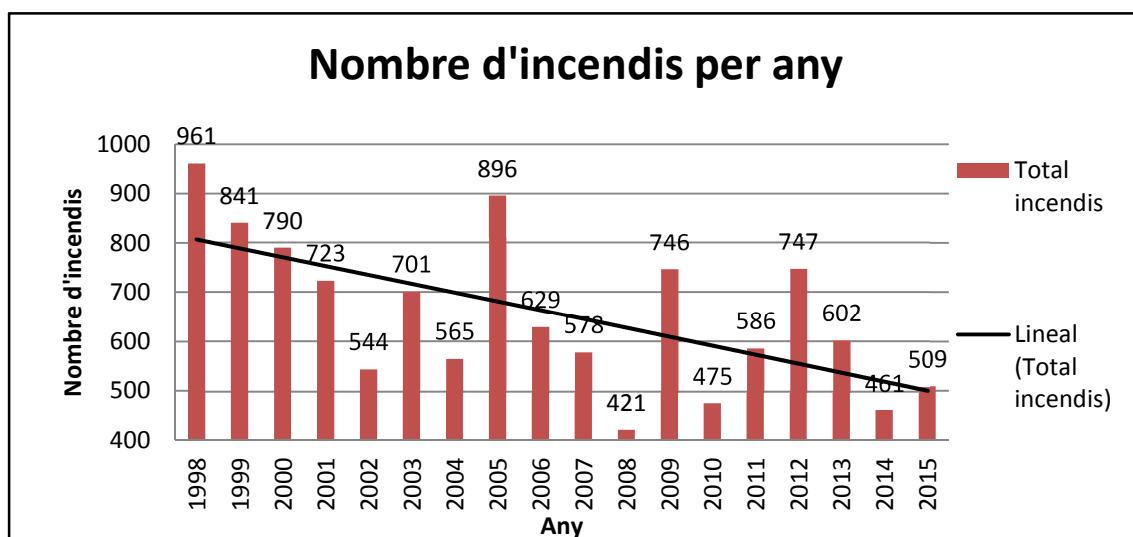


Figura 11: Gràfica on es representa el nombre d'incendis per any a Catalunya. Font: IDESCAT

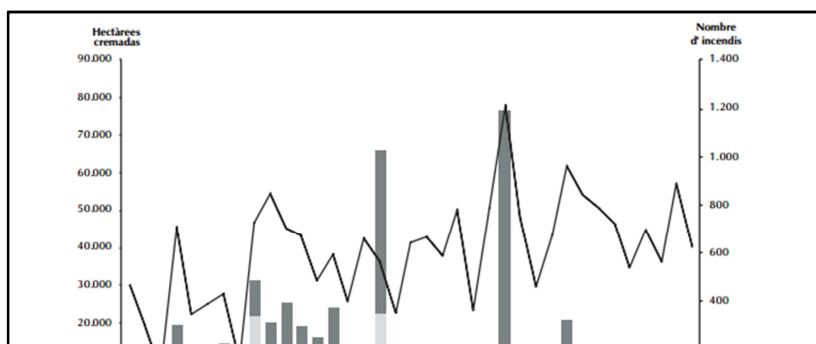


Figura 12: Gràfica d'incendis forestals i superfície cremada a Catalunya. Període 1970-2006.
Font: Congrés Català Forestal

9.2 Objectiu

El principal objectiu d'aquest estudi és la utilització d'imatges SENTINEL 2 en l'anàlisi d'incendis i la comprovació de la seva idoneïtat respecte a les imatges LANDSAT, per aquest cas d'estudi l'objectiu es concreta en el maneigament i comprensió de l'Índex de Severitat.

9.2.1 Objectius principals

Amb aquest treball es vol contribuir a l'anàlisi de l'adequació de les imatges SENTINEL 2 per a la discriminació de la severitat en àrees cremades i la seva regeneració. En definitiva analitzar quin valor afegit poden aportar les característiques espectrals, radiomètriques, temporals i espacials als treballs actuals de l'ICGC en incendis forestals.

9.2.2 Objectius transversals

Els objectius transversals són l'aprofundiment en conceptes de Teledetecció, la familiarització amb el maneigament de les imatges SENTINEL 2 i amb programari propi de Teledetecció.

9.2.3 Aproximació a la recerca

El foc consumeix la vegetació, destrueix la clorofil·la, altera la mescla del sòl i s'enduu el sòl nu. Per avaluar el grau de severitat de l'incendi, es selecciona l'Índex de Severitat o NBR, és un índex sensible als canvis entre vegetació saludable, contingut d'humitat i canvi d'algunes condicions del sòl que poden tenir lloc després del foc (2).

9.2.3.1. Índex de severitat

La severitat d'una àrea cremada es defineix en ecologia com l'efecte del foc en un ecosistema. En els mapes de severitat es mostren categories àmplies del tipus: baixa, moderada i alta. L'índex de severitat NBR (*Normalized Burn Ratio*) és un índex normalitzat que remarca la resposta espectral del territori afectat pel foc a partir de les bandes del IRp (infraroig proper) i IRm (infraroig mitjà) corresponents a les bandes 8 i 12 pel que fa al satèl·lit SENTINEL 2. Aquest índex permet oferir un bon contrast entre la vegetació fotosintètica saludable i la vegetació cremada.

$$NBR = ((8 - 12) / (8 + 12)) \times 1000$$

Per altra banda està el dNBR (delta *Normalized Burn Ratio*) que és la diferència entre la imatge, conjugada amb les bandes corresponents, d'abans i la imatge de després de l'incendi.

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post}$$

El que s'aconsegueix amb aquest índex són imatges on es pot visualitzar la zona afectada, sensible a la quantitat de contingut en clorofil·la en les plantes, la humitat i les cendres del sòl (Sean A. Parks *et. al.*) així doncs permet representar la intensitat de l'afectació (severitat) en un territori cremat.

En el marc del nostre objectiu hem estudiat algunes de les potencialitats del satèl·lit SENTINEL 2, aconseguint imatges i els índexs corresponents. Així, hem pogut observar quin ha estat el grau de severitat que ha afectat una zona.

9.3 Metodologia

Les imatges van ser descarregades de forma gratuïta des del mateix servidor de la ESA. A més entre altres programes de pagament com el ArcMap, vàrem utilitzar el QGIS i Snap com a programari *open source* i el visualitzador GeoView i Instamaps com a programari propi del ICGC, per tal de transformar les imatges SENTINEL 2 (dades) en informació i coneixement geoespacial.

9.3.1 Localització d'un incendi

Després de fer una recerca dels incendis susceptibles de ser captats per les imatges SENTINEL 2 disponibles a Catalunya (imatges des de desembre del 2015), hem realitzat una taula amb els més importants fins al moment de la selecció. Per dimensions, encara que és un incendi molt petit, s'ha seleccionat l'incendi del Massís de Bonastre, al Municipi d'Albinyana-Bonastre, a la comarca del Baix Penedès. Es van cremar 15 ha, majoritàriament de matollar i pi. L'incendi es va produir el 06/01/2016.

ANY	MES	DIA	Topònim 1	Topònim 22	Municipi	Comarca	ha	Elements
2016	3	12			Pardines	Ripollès		Vegetació+camps
2016	1	6	Coll de la Font d'en Benet	Massís de Bonastre	Albinyana-Bonastre	Baix Penedès	15	Pi i matoll
2016	3	3	Entre AP7 i A7	Miami Platja	Mont-roig del Camp	Baix Camp	10	Matoll
2016	3	8	Coll de Balitres	Port de la Selva	Cervera	França (ha passat a Cat)	5	Matoll

Taula 03: Incendis produïts l'any 2016 detectats fins al moment d'inici de l'estudi

A continuació una imatge de la zona afectada. Les coordenades del punt central de l'incendi són: 41.228279; 1.470911, en el Sistema de Referència EPSG 4326: (Geogràfiques, WGS84)

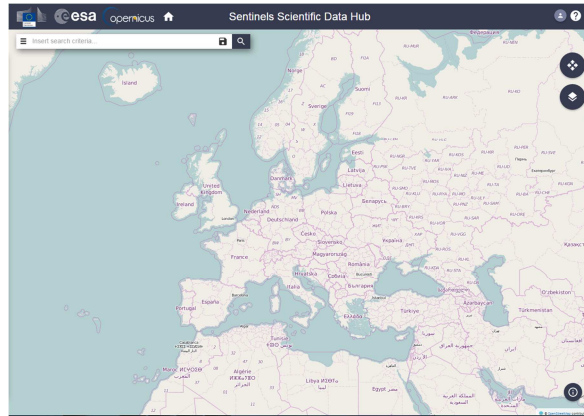


Figura 13: Imatge de la localització de l'incendi d'Albinyana

9.3.2 Cerca d'imatges

L'adquisició de les dades es va realitzar des del servidor propi de l'ESA. Les imatges van ser descarregades mitjançant aquest procés:

Entrada a la plana principal de descàrrega <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>



Filtratge per data, satèl·lit, i per regió.

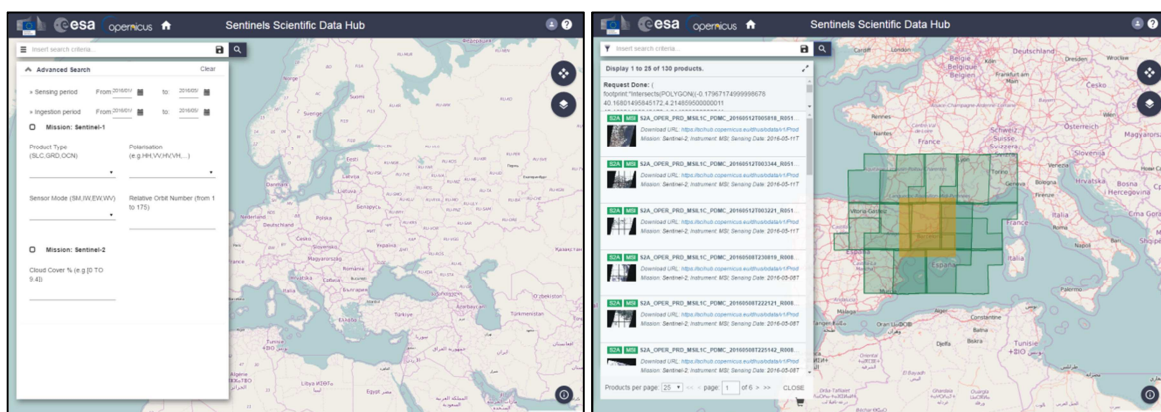


Figura 15: Imatge de la cerca de les imatges

Vàrem cercar imatges anteriors i posteriors a l'incendi a la zona de Catalunya pel SENTINEL 2.

9.3.2.1. Productes de SENTINEL 2

A continuació expliquem breument alguns tipus dels productes disponibles. En aquest treball es fan servir dos productes diferents, el Nivell-1C (L1C) i el Nivell-2A (L2A):

Nom del producte	Descripció del Nivell	Producció i Distribució	Mida de la dada
Nivell-1B	Radiància Top-of-atmosphere en la geometria del sensor	Generació sistemàtica i distribució on-line	27MB (25x23km ²)
Nivell-1C	Reflectància Top-of-atmosphere orto-rectificada	Generació sistemàtica i distribució on-line	500MB (100x100 km ²)
Nivell-2A	Reflectància Bottom-of-atmosphere orto-rectificada	Generat per l'usuari	600MB (100x100 km ²)

Taula 04: Taula on es representen alguns productes amb les seves característiques

Cal esmentar que els productes derivats de la descàrrega són imatges o escenes. Aquestes imatges/escenes són un conjunt de subimatges (grànuls) de mida fixa. Un sol grànul és la partició indivisible mínima d'una imatge i conté totes les possibles bandes espectrals.

Per al Nivell-1C (L1C) i Nivell-2A (L2A), els grànuls són de 100km² i són ortoimatges amb projecció UTM/WGS84. El sistema UTM (*Universal Transversal de Mercator*) divideix la superfície de la terra en 60 zones. Cada zona UTM té una amplada vertical de 6 graus de longitud i amplada horitzontal de 8 graus de latitud.

El producte del Nivell-1C (L1C) és l'entrada per algoritmes de correcció atmosfèrica, destinada a la recuperació de la radiometria corresponent a la part inferior de l'atmosfera, per tant, inclou correccions radiomètriques i geomètriques incloent orto-rectificació i registre espacial en un sistema de referència global amb precisió subpíxel.

El producte del Nivell-2A (L2A), es processa en dues fases:

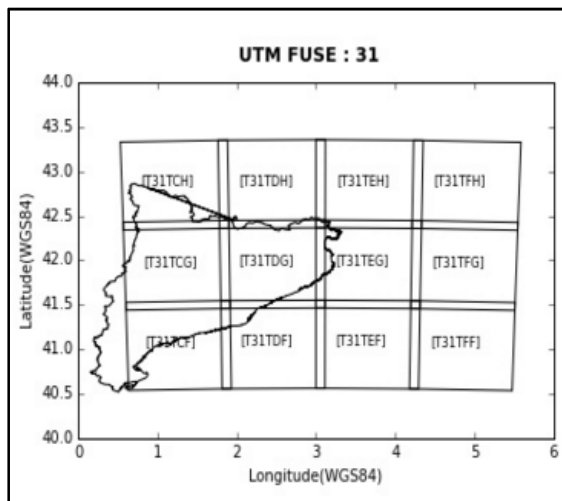
- Classificació de l'escena, que té com a objectiu proporcionar una mapa de classificació dels píxels (núvols, ombres de núvols, la vegetació, els sòls/deserts, aigua, neu, etc.) aplicat als productes Nivell-1C (L1C).
- Correcció atmosfèrica aplicat als productes Nivell-1C (L1C).

Les imatges que vàrem obtenir es descriuen tot seguit:

9.3.2.2. Imatge anterior a l'incendi

Imatge UUID: b9019806-f6a5-47ce-9fe5-bfabb06d7d60

S2A_OPER_PRD_MSIL1C_PDMC_20151202T224345_R008_V20151130T105641_20151130T105641



Treballem amb el grànul T31TCF, que és la zona que correspon al nostre estudi.

Figura 16: Representació dels diferents grànuls a Catalunya

9.3.2.3. Imatge posterior a l'incendi

Imatge UUID: 06cb708a-0366-4ff4-8e3e-8fdb8a0e1736

S2A_OPER_PRD_MSIL1C_PDMC_20160312T234322_R051_V20160312T105037_20160312T105037

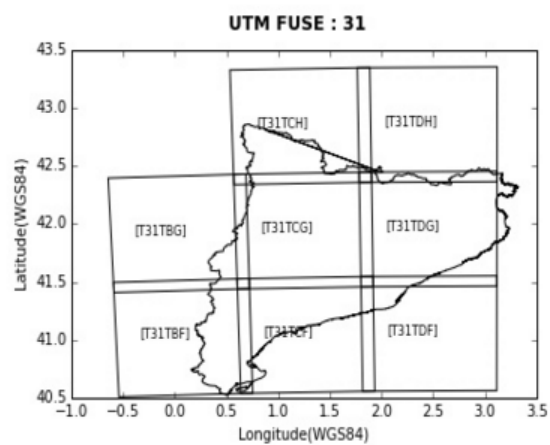
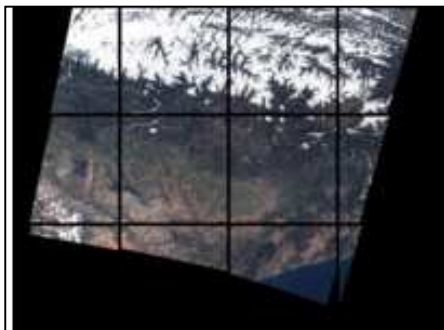


Figura 17: Imatge seleccionada, amb els seus grànuls

Pel que fa a la nomenclatura de les imatges,

- **L1C** ens indica que la imatge no incorpora la correcció atmosfèrica
- **L2C** ens indica que la imatge ja té la correcció atmosfèrica
- **20151202/20160312** és la data d'obtenció de la imatge
- **R008/R051** són els números d'òrbites relatives

9.3.3 Programari

El programari utilitzat en aquesta metodologia va ser el següent:

- Snap: programari *open source* de la ESA que hem utilitzat per visualitzar la combinació de les diferents bandes o l'índex de severitat entre d'altres
- QGIS: programari *open source* que hem utilitzat per obtenir els resultats preliminars.
- Instamaps: programari lliure creat a l'ICGC utilitzat per la visualització i representació dels mapes finals
- ArcMap: programari creat per ESRI (*Environmental Systems Research Institute*). L'hem utilitzat per realitzar el canvi de resolució de les imatges i la visualització dels resultats.
- GeoView: és un programari intern de l'ICGC utilitzat per visualitzar i realitzar algunes operacions com la creació de les subescenes.

9.4 Implementació

9.4.1 Introducció de la georeferenciació a les imatges L2A

Les imatges de L2A estan corregides atmosfèricament però en el procés de correcció atmosfèrica amb el programari **sen2cor** (ESA) s'ha detectat que es perden els valors de la referenciació geomètrica. Aquest és un problema ja detectat i reportat a ESA, però en moment de la redacció d'aquest informe encara no es disposa d'una versió actualitzada que no produeixi aquest efecte. Per poder recuperar la georeferenciació s'ha seguit la següent seqüència: obtenció de l'arxiu XML (*eXtensible Markup Language*) de les imatges L1C, gravació de l'arxiu XML, emmagatzematge com un arxiu únic i introducció a la imatge que correspon a la mateixa banda de la imatge corregida atmosfèricament (L2A). És a dir, l'XML de la banda 02 de resolució 10 m de la imatge L1C ha de ser lligada a la banda 02 de resolució 10 m de la imatge L2A.

Passos següents:

- Carreguem a GeoView la imatge L1C i guardem l'XML
- Carreguem la imatge L2A corresponent (banda i resolució) sense georeferència al GeoView. Busquem l'XML extret de la imatge L1C i l'introduïm a la imatge L2A.

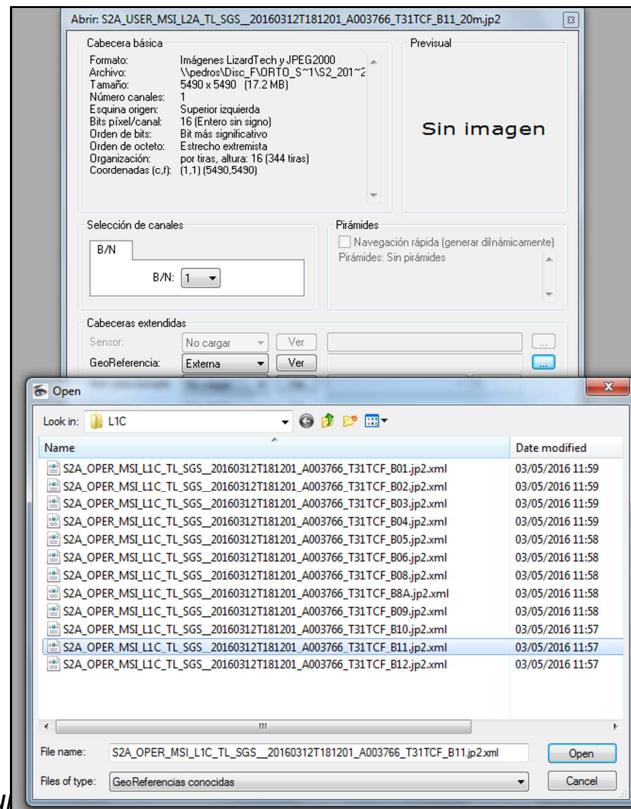


Figura 18: Imatge del procés d'obrir una imatge L2A al programari GeoView

- Guardem la imatge. Així doncs la imatge guardada L2A ja tindrà les coordenades de la imatge L1C, que són les coordenades que li corresponen. Guardem en format .tif

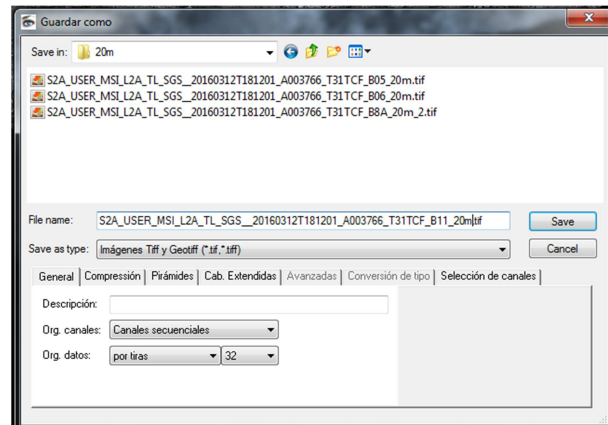


Figura 19: Imatge del procés de guardar en format .tif al programari GeoView

Creem subescenes de cada banda: per no treballar amb tota la imatge de Catalunya haurem de crear subescenes. Això ho fem per seleccionar l'àrea del nostre interès i no haver d'arrossegar imatges molt pesades. Per tant, el benefici està en la rapidesa del procés i en la poca ocupabilitat en disc.

Passos seguits:

- Introduïm al GeoView la imatge L2A ja georeferenciada.

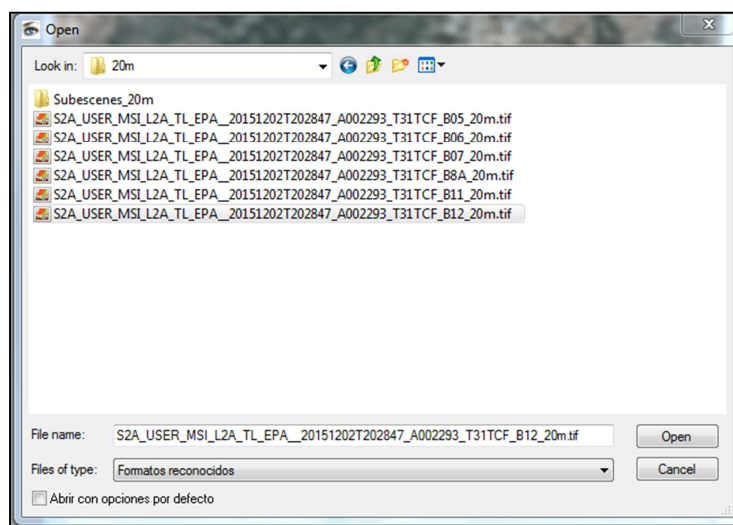


Figura 20:

selecció de bandes al programari GeoView

Imatge de la

- Seleccionem la tecla de *Subescenas y transformaciones*, se'ns obre una finestra on introduïm la mida i les coordenades de la subescena.

Àrea TL	370990	4566090
BR	372570	4564510

Taula 05: Coordenades de la subescena. TL: 'Top Left' o cantonada superior esquerra; BR: 'Bottom Right' o cantonada inferior dreta. Coordenades en WGS84, UTM 31 N

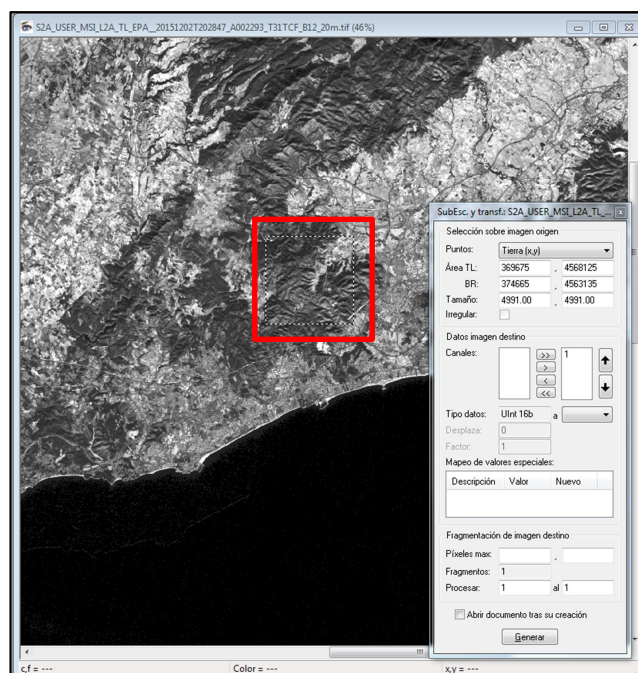


Figura 21: Imatge on es visualitza l'àrea seleccionada per fer la subescena al programari GeoView

- Guardem la subescena en format .tif, amb un prefix 'sub' per identificar fàcilment que es tracta de Subescenes.

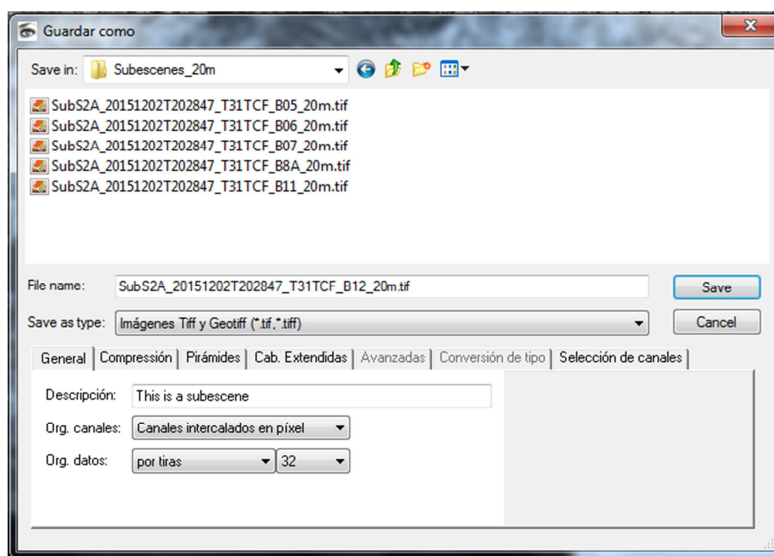


Figura 22:

guardar al programari GeoView

Procés de

Per altra banda ens cal unificar la resolució de les bandes per poder treballar de manera conjunta (combinar, operar), les transformem fins a una resolució comuna de 20 metres.

Passos següents:

- En el programa ArcMap obrim les imatges SubS2A_20160312T181201_T31TCF_BX_10m
- Procés. **Data Management Tools** → **Raster** → **Raster Processing** → **Resample**

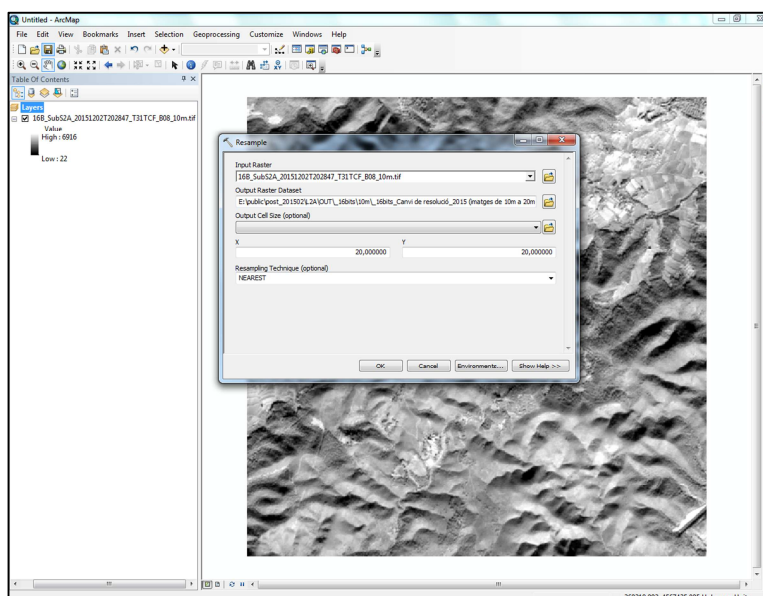


Figura 23: Imatge on es mostra el menú de canvi de resolució al programari ArcMap

- Introduïm l'arxiu al qual volem canviar-li la resolució. Canviarem la resolució a 20 metres.
- Les bandes seleccionades per fer aquest canvis són la banda 03, banda 04 i banda 08. Les bandes 05, 07, 08A, 12 ja són bandes amb una resolució de 20 metres.

9.5 Resultats preliminars i representació

Creació amb ArcMap del mapa de l'incendi:

Passos seguits:

- Carreguem les bandes B8 i B12 del 2015 i les del 2016
- Obrim *raster calculator* (**Spatial Analyst Tools** → **Map Algebra** → **Raster Calculator**) i afegim la formula de l'índex *Normalized Burn Ratio*:

$$NBR = ((8 - 12) / (8 + 12)) \times 1000;$$

(multipliquem per 1000 per treballar amb valors sense decimals)

Aquesta operació la farem per a cadascun dels dos anys. Aquí podrem observar la diferència entre la zona poblada de vegetació (2015) i la imatge sense vegetació (2016).

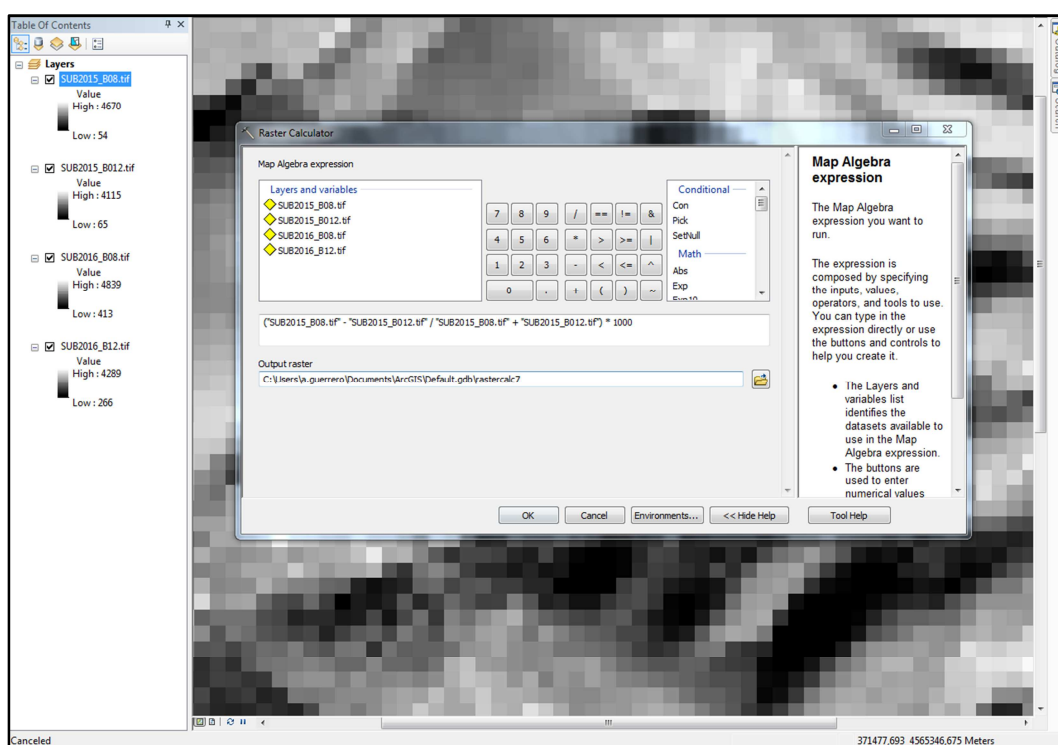


Figura 24: 'Raster calculator' a ArcMap

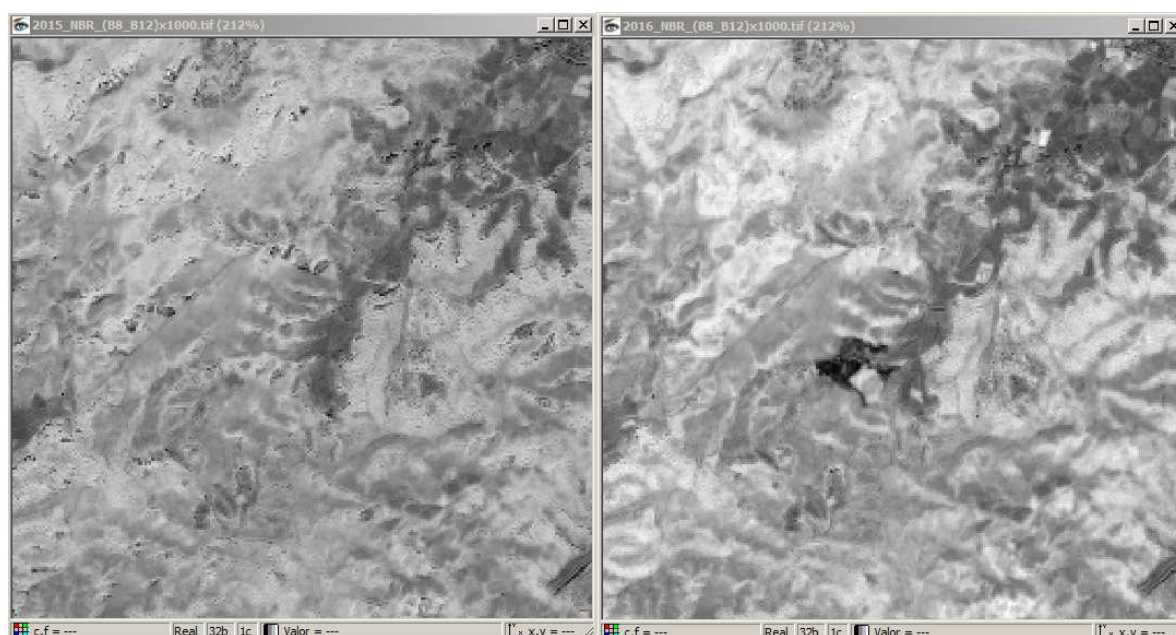


Figura 25: A l'esquerra índex NBR de la imatge del 2015, a la dreta índex NBR de la imatge del 2016 (GeoView)

- Amb la següent fórmula realitzarem la imatge de la diferència entre el NBR del 2015 i el NBR del 2016

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post}$$



Figura 26. Visualització de l'índex dNBR a GeoView

- Per una altra banda delimitem la zona de l'incendi classificant els ràsters NDVI, amb un refinament manual posterior (contrastant amb diferents combinacions de bandes dins el rang del visible)

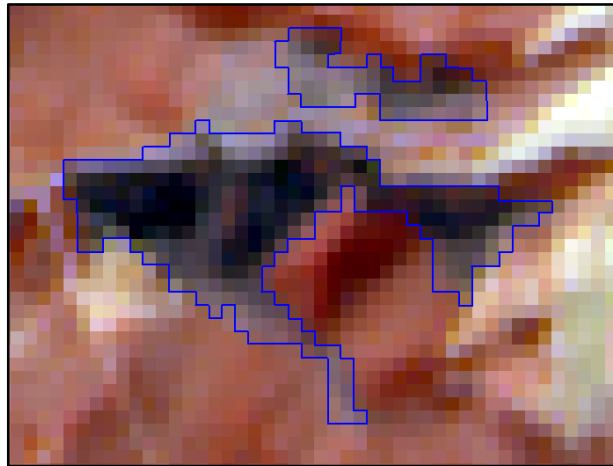


Figura 27. Delimitació de l'incendi

- Carreguem la imatge de la subescena de dNBR a ArcMap
- Posteriorment utilitzem l'eina d'ArcMap *Raster to Polygon* (*Conversions Tools* → *From Raster* → *Raster to Polygon*). Aquí el que busquen és convertir la capa ràster en una capa composta de diferents polígons, cadascun d'ells amb valor un diferent (donats pel ràster).

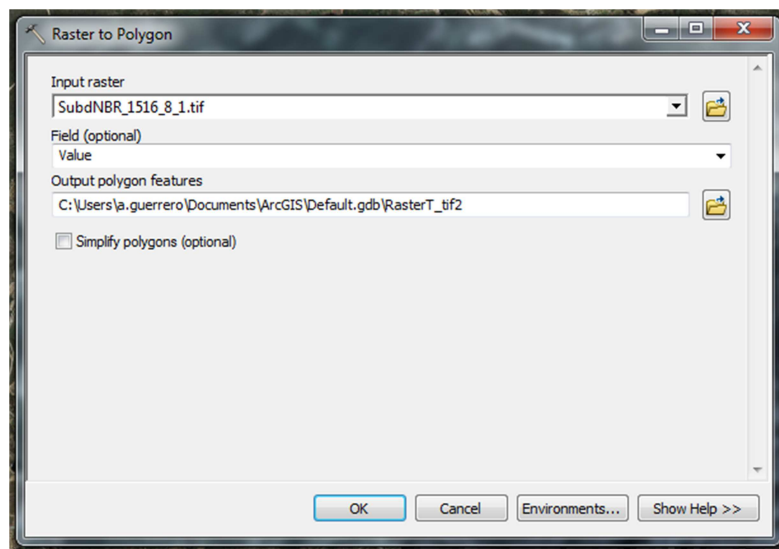


Figura 28: Raster to Polygon (casella Simplify polígons desactivada)

- Com a resultat obtenim una capa de polígons.

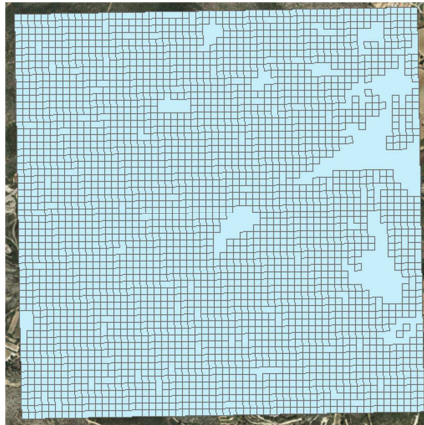


Figura 29: Capa de polígons

Aplicarem una simbolització de 20 classes pel valor de cada polígon, i posteriorment resimbolitzarem a 4 classes diferents.

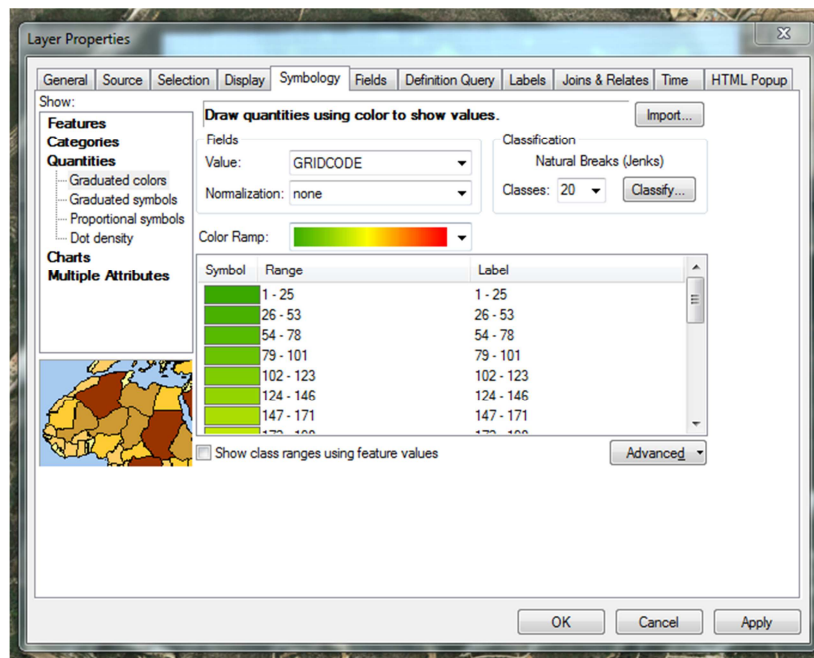


Figura 30: Procés de simbolització

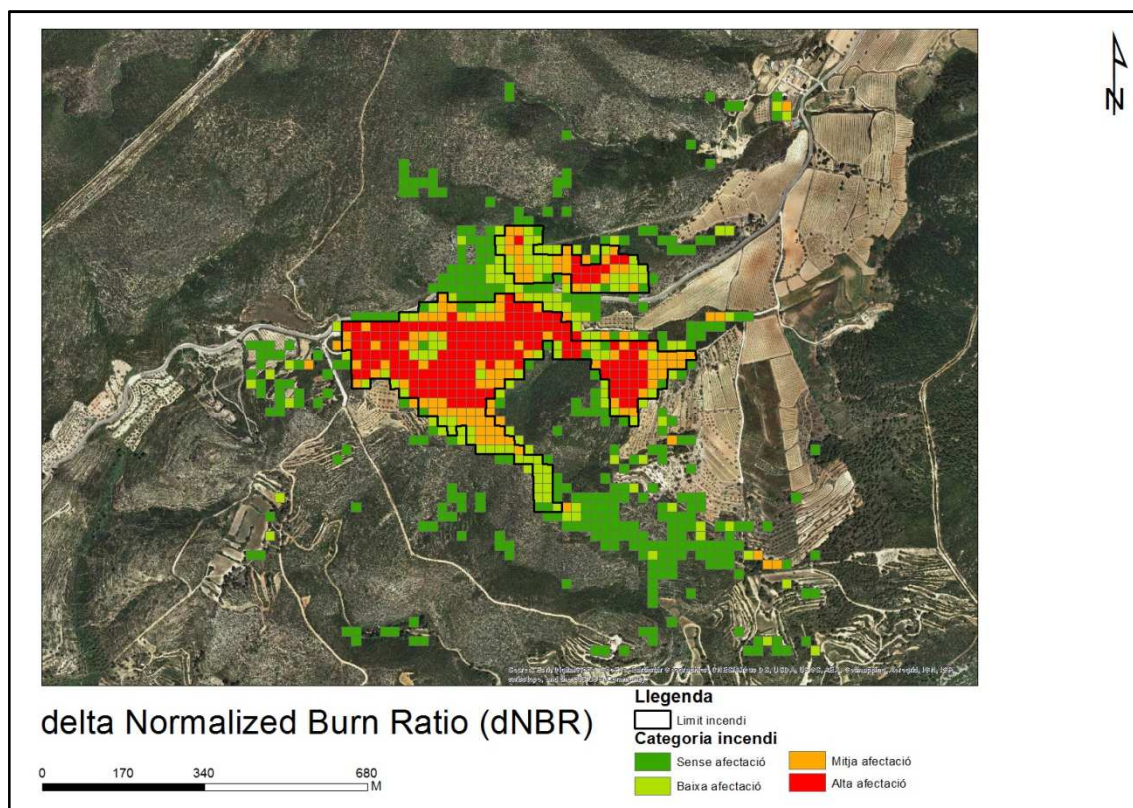


Figura 31. Mapa final dNBR

Aquí una representació amb Instamps:

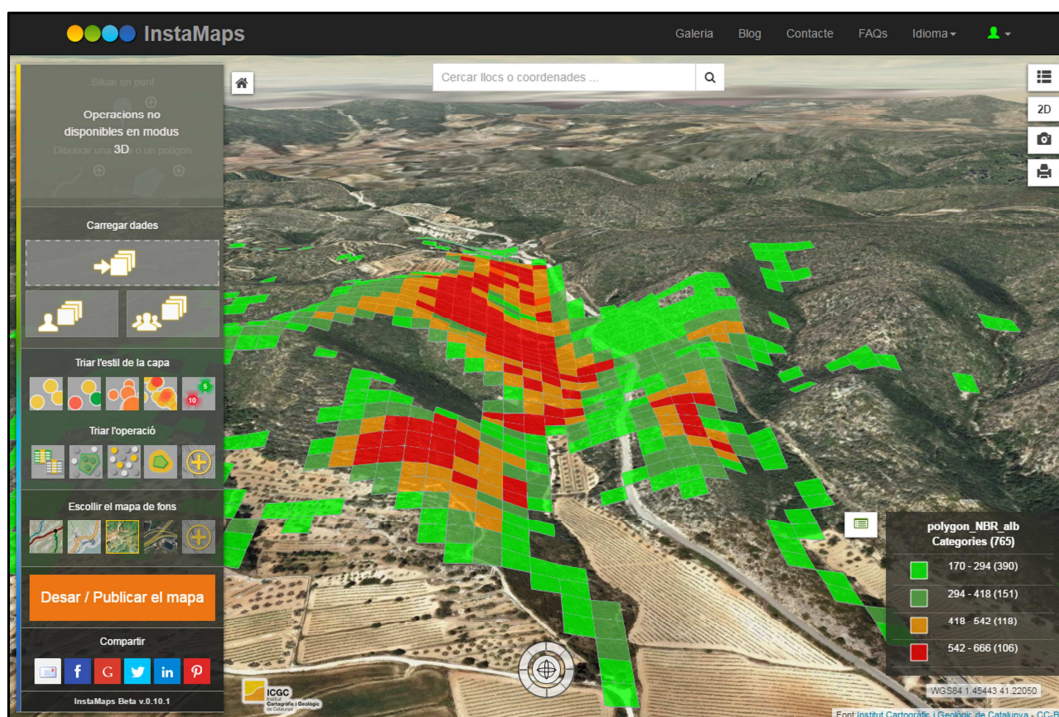


Figura 32: Representació de la zona afectada en 3D mitjançant Instamps

9.6 Treball de camp

El dia 08/06/2016 i després de l'anàlisi de gabinet de les imatges es va portar a terme una sortida de camp a la zona d'estudi. L'objectiu d'aquesta sortida va ser comprovar l'estat de l'indret afectat per l'incendi, la seva evolució, així com la validació i l'anàlisi sobre el territori de la geoinformació obtinguda a gabinet amb programari ICGC (propi i comercial).

9.6.1 Metodologia

9.6.1.1. Preparació del material

Abans d'anar a la zona d'afectació vàrem preparar el material.

- **ArcMap:** amb aquest *software* es van utilitzar els mapes ja creats durant el procés del cas d'estudi del dNBR i es van buscar 3 plots de diferent grau d'afectació. El primer plot de màxima severitat. El segon plot de severitat mitjana i el tercer i últim plot de poca afectació, tal com es mostra a la figura 24
- **Google Earth:** vàrem utilitzar aquesta aplicació al nostre mòbil per visualitzar els plots creats a l'ArcMap i situar-nos sobre el terreny, figura 25. Un cop vàrem tenir les dades creades les vàrem convertir en un arxiu KMZ (eXtensible Markup Language). El Google Earth és capaç de llegir informació comprimida en aquest tipus d'arxiu i per tant, com ja hem explicat, vàrem ser capaços de carregar la informació creada al ArcMap per poder visualitzar la informació als mòbils i al mateix moment situar-nos. Com es pot observar a la figura 33, es van pre-seleccionar fins a vuit plots per l'estudi de camp, però la topografia de l'indret no ens donava l'oportunitat d'accedir fàcilment a aquests plots.

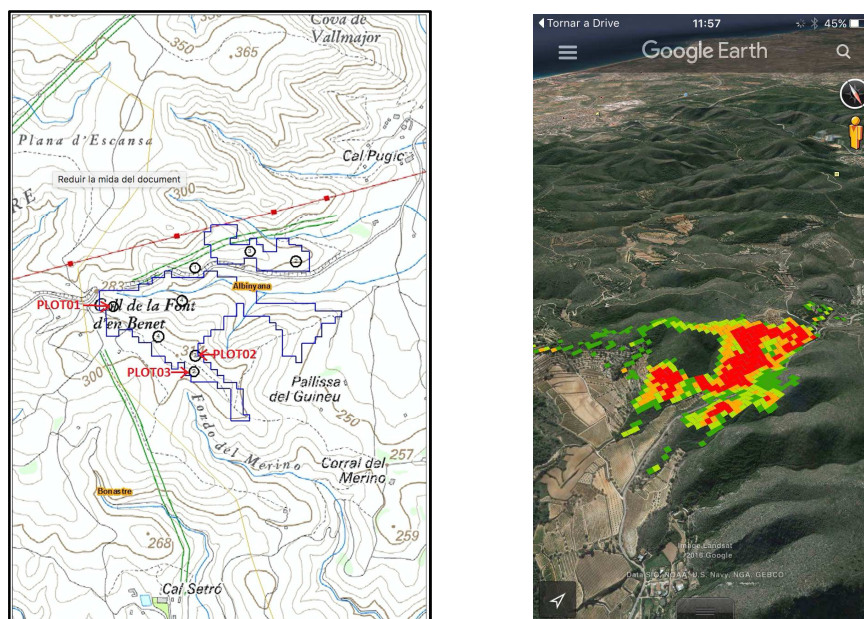


Figura 33: A l'esquerra imatge de la localització dels plots. A la dreta imatge de Google Earth

A continuació es mostra l'aspecte al territori,



Figura 34 . A l'esquerra Plot 1, a la dreta Plot 2



Figura 35. Aspecte del Plot 3

- **Composite Burned Index (CBI):** aquest índex va ser desenvolupat pel U.S. Geological Survey i el National Park Service l'any 2002 per a ser aplicat a partir de l'anàlisi sobre el terreny. Està dissenyat per quantificar i proporcionar una escala de valor que reflecteixi els efectes causats pel foc a través de tots els estrats d'una comunitat vegetal, llançant un valor mitjà de les condicions de la crema d'una àrea determinada. La metodologia del CBI surt d'un disseny jeràrquic, on el criteri de severitat de cada un dels estrats de vegetació s'avalua de forma independent, on el resultat és un valor numèric continu compres entre 0,0 (en àrees no cremades) a 3,0 (en àrees de severitat màxima). Aquesta avaluació es realitza sobre una àrea determinada, denominada plot. La mida d'aquest plot està relacionada amb la resolució del sensor, és a dir, la mida del píxel, que en el nostre estudi és de 20x20 metres. Els resultats s'agrupen en dos grans grups, sotabosc i dosser. El valor del CBI per a cada un d'ells serà igual a la suma dels nivells compresos en els estrats que el constitueixen. Concretament:

$$\begin{array}{l} \text{CBI Parcela} = \text{CBI Sotobosque} + \text{CBI Dosel} \\ \text{CBI Sotobosque} = A + B + C \qquad \qquad \text{CBI Dosel} = D + E \end{array}$$

A continuació presentem el model buit del CBI:

FFI -- BURN SEVERITY -- COMPOSITE BURN INDEX

PD - Abridged		Examiners:		Project Unit		Fire Name:	
Administrative Unit				Macro Plot			
Field Date mmddyyyy		/ /		Fire Date mmyyyy		/	
Plot Aspect				Plot % Slope		UTM Zone	
Plot Diameter Overstory				UTM E plot center		GPS Datum	
Plot Diameter Understory				UTM N plot center		GPS Error (m)	
Number of Plot Photos				Plot Photo IDs			

BI - Long Form		% Burned 100 feet (30 m) diameter from center of plot =				Fuel Photo Series =		
STRATA RATING FACTORS	BURN SEVERITY SCALE							FACTOR SCORES
	No Effect	Low	Moderate	High				
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	

A. SUBSTRATES												
% Pre-Fire Cover: Litter =		Duff =		Soil/Rock =		Pre-Fire Depth (inches): Litter =		Duff =		Fuel Bed =		
Litter/Light Fuel Consumed	Unchanged	--	50% litter	--	100% litter	--	>80% light fuel	--	98% Light Fuel			0 =
Duff	Unchanged	--	Light char	--	50% loss deep char	--	Consumed					N =
Medium Fuel, 3-8 in.	Unchanged	--	20% consumed	--	40% consumed	--	>60% loss, deep ch					X̄ =
Heavy Fuel, > 8 in.	Unchanged	--	10% loss	--	25% loss, deep char	--	>40% loss, deep ch					
Soil & Rock Cover/Color	Unchanged	--	10% change	--	40% change	--	>80% change					
CBI_1												

B. HERBS, LOW SHRUBS AND TREES LESS THAN 3 FEET (1 METER)											
% Pre-Fire Cover =		% Enhanced Growth =									
% Foliage Altered (blk-brn)	Unchanged	--	30%	--	80%	--	95%	--	100% + branch loss		0 =
Frequency % Living	100%	--	90%	--	50%	--	< 20%	--	None		N =
Colonizers	Unchanged	--	Low	--	Moderate	--	High-Low	--	Low to None		X̄ =
Spp. Comp. - Rel. Abund.	Unchanged	--	Little change	--	Moderate change	--	High change				
CBI_1											

C. TALL SHRUBS AND TREES 3 to 16 FEET (1 TO 5 METERS)											
% Pre-Fire Cover =		% Enhanced Growth =									
% Foliage Altered (blk-brn)	0%	--	20%	--	60-90%	--	> 95%	--	Signifcant branch loss		0 =
Frequency % Living	100%	--	90%	--	30%	--	< 15%	--	< 1%		N =
% Change in Cover	Unchanged	--	15%	--	70%	--	90%	--	100%		X̄ =
Spp. Comp. - Rel. Abund.	Unchanged	--	Little change	--	Moderate change	--	High Change				
CBI_1											

D. INTERMEDIATE TREES (SUBCANOPY, POLE-SIZED TREES)											
% Pre-Fire Cover =		Pre-Fire Number Living =		Pre-Fire Number Dead =							
% Green (Unaltered)	100%	--	80%	--	40%	--	< 10%	--	None		0 =
% Black (Torch)	None	--	5-20%	--	60%	--	> 85%	--	100% + branch loss		N =
% Brown (Scorch/Girdle)	None	--	5-20%	--	40-80%	--	< 40 or > 80%	--	None due to torch		X̄ =
% Canopy Mortality	None	--	15%	--	60%	--	80%	--	%100		
Char Height	None	--	1.5 m	--	2.8 m	--	> 5 m				
CBI_1											

Post Fire: % Girdled =		% Felled =		% Tree Mortality =						
------------------------	--	------------	--	--------------------	--	--	--	--	--	--

E. BIG TREES (UPPER CANOPY, DOMINANT, CODOMNANT TREES)											
% Pre-Fire Cover =		Pre-Fire Number Living =		Pre-Fire Number Dead =							
% Green (Unaltered)	100%	--	95%	--	50%	--	< 10%	--	None		0 =
% Black (Torch)	None	--	5-10%	--	50%	--	> 80%	--	100% + branch loss		N =
% Brown (Scorch/Girdle)	None	--	5-10%	--	30-70%	--	< 30 or > 70%	--	None due to torch		X̄ =
% Canopy Mortality	None	--	10%	--	50%	--	70%	--	%100		
Char Height	None	--	1.8 m	--	4 m	--	> 7 m				
CBI_1											

Post Fire: % Girdled =		% Felled =		% Tree Mortality =						
------------------------	--	------------	--	--------------------	--	--	--	--	--	--

Community Notes/Comments:		CBI = Sum of Scores / N Rated:		Sum of Scores	N Rated	CBI
		Understory (A+B+C)				
		Overstory (D+E)				
		Total Plot (A+B+C+D+E)				

% Estimators: **20 m Plot:** 314 m² 1% = 1x3 m 5% = 3x5 m 10% = 5x6 m *After, Key and Benson 1999, USGS/NRMS, Glacier Field Station.*
30 m Plot: 707 m² 1% = 1x7 m (<2x4 m) 5% = 5x7 m 10% = 7x10 m *Version 4.0 8 27, 2004 (updated 11/26/07 for FFI)*
 Strata and Factors are defined on the reverse side of this form. See the FIREMON Landscape Assessment, Chapter 2, available at <http://frames.nbii.gov/firemon>, for more information.

Figura

36: Model CBI

9.6.2 Resultats

FFI -- BURN SEVERITY -- COMPOSITE BURN INDEX									
PD - Abridged		Examiners:			Fire Name:				
Administrative Unit		Project Unit			Macro Plot				
Field Date mmmddyyyy		Fire Date mmm/yyyy			/ /				
Plot Aspect		Plot % Slope			UTM Zone				
Plot Diameter Overstory		UTM E plot center			GPS Datum				
Plot Diameter Understory		UTM N plot center			GPS Error (m)				
Number of Plot Photos		Plot Photo IDs							
BI - Long Form		% Burned 100 feet (30 m) diameter from center of plot =			Fuel Photo Series =				
STRATA RATING FACTORS		BURN SEVERITY SCALE						FACTOR SCORES	
		No Effect	Low	Moderate	High				
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
A. SUBSTRATES									
% Pre-Fire Cover: Litter =		Duff =		Soil/Rock =		Pre-Fire Depth (inches): Litter =		Duff =	
Litter/Light Fuel Consumed		Unchanged		50% litter		100% litter		>80% light fuel	
Duff		Unchanged		Light char		50% loss deep char		Consumed	
Medium Fuel, 3-8 in.		Unchanged		20% consumed		40% consumed		>60% loss, deep ch	
Heavy Fuel, > 8 in.		Unchanged		10% loss		25% loss, deep char		>40% loss, deep ch	
Soil & Rock Cover/Color		Unchanged		10% change		40% change		>80% change	
CBI_1									
B. HERBS, LOW SHRUBS AND TREES LESS THAN 3 FEET (1 METER):									
% Pre-Fire Cover =		% Enhanced Growth =							
% Foliage Altered (blk-brn)		Unchanged		30%		80%		95%	
Frequency % Living		100%		90%		50%		< 20%	
Colonizers		Unchanged		Low		Moderate		High-Low	
Spp. Comp. - Rel. Abund.		Unchanged		Little change		Moderate change		High change	
CBI_1									
C. TALL SHRUBS AND TREES 3 to 16 FEET (1 TO 5 METERS):									
% Pre-Fire Cover =		% Enhanced Growth =							
% Foliage Altered (blk-brn)		0%		20%		60-90%		> 95%	
Frequency % Living		100%		90%		30%		< 15%	
% Change in Cover		Unchanged		15%		70%		90%	
Spp. Comp. - Rel. Abund.		Unchanged		Little change		Moderate change		High Change	
CBI_1									
D. INTERMEDIATE TREES (SUBCANOPY, POLE-SIZED TREES)									
% Pre-Fire Cover =		Pre-Fire Number Living =		Pre-Fire Number Dead =					
% Green (Unaltered)		100%		80%		40%		< 10%	
% Black (Torch)		None		5-20%		60%		> 85%	
% Brown (Scorch/Girdle)		None		5-20%		40-80%		< 40 or > 80%	
% Canopy Mortality		None		15%		60%		80%	
Char Height		None		1.5 m		2.8 m		> 5 m	
CBI_1									
Post Fire: %Girdled =		%Felled =		%Tree Mortality =					
E. BIG TREES (UPPER CANOPY, DOMINANT, CODOMINANT TREES)									
% Pre-Fire Cover =		Pre-Fire Number Living =		Pre-Fire Number Dead =					
% Green (Unaltered)		100%		95%		50%		< 10%	
% Black (Torch)		None		5-10%		50%		> 80%	
% Brown (Scorch/Girdle)		None		5-10%		30-70%		< 30 or > 70%	
% Canopy Mortality		None		10%		50%		70%	
Char Height		None		1.8 m		4 m		> 7 m	
CBI_1									
Post Fire: %Girdled =		%Felled =		%Tree Mortality =					
Community Notes/Comments:		CBI = Sum of Scores / N Rated:		Sum of Scores		N Rated		CBI	
		Understory (A+B+C)							
		Overstory (D+E)							
		Total Plot (A+B+C+D+E)							
<small>% Estimators: 20 m Plot: 314 m² 1% = 1x3 m 5% = 3x5 m 10% = 5x6 m After, Key and Benson 1999, USGS NRMSC, Glacier Field Station. 30 m Plot: 707 m² 1% = 1x7 m (<2x4 m) 5% = 10x10 m 10% = 10x15 m Version 4.0 8 27, 2004 (updated 11/26/07 for FFI) Strata and Factors are defined on the reverse side of this form. See the Plot Inventory Landscape Assessment, Chapter 2, available at http://frames.cbl.gov/firemon/, for more information.</small>									

A l'índex del primer plot, tal com podem observar a la figura 37, predominava la vegetació arbòria (pins), amb presència d'arbusts (determinat per comparació amb la vegetació veïna no cremada, i per les restes existents). Per tant, el CBI ha sigut analitzat per aquests dos estrats de vegetació, a més del substrat. Els resultats ens indiquen que la severitat d'aquest plot ha sigut màxima: les restes de vegetació estan completament carbonitzades i el sòl està cobert de restes de pinassa, que forma una capa ennegrida. Cal destacar, que a conseqüència d'haver passat un temps des de l'incendi, el substrat està sent colonitzat per espècies arbustives i herbàcies tal com el marfull (*Viburnum tinus*), llentiscle (*Pistacea lentiscus*), garric (*Quercus coccifera*), rogeta (*Rubia peregrina*) i per poàcies. El recobriment sobre el total del substrat és d'un 35%. Aquest petit inventari serà útil en un futur per monitorar l'evolució de l'indret, per localitzar possibles espècies invasores i poder gestionar els recursos. Per altra

banda, aquest inventari hauria de ser molt més exhaustiu per tal de poder treure dades representatives.

FFI -- BURN SEVERITY -- COMPOSITE BURN INDEX									
PD - Abridged		Examiners:				Fire Name:			
Administrative Unit		Project Unit		Macro Plot					
Field Date mmmddyyyy		Fire Date mmmddyyyy		UTM Zone					
Plot Aspect		Plot % Slope		GPS Datum					
Plot Diameter Overstory		UTM E plot center		GPS Error (m)					
Plot Diameter Understory		UTM N plot center							
Number of Plot Photos		Plot Photo IDs							
BI - Long Form		% Burned 100 feet (30 m) diameter from center of plot =				Fuel Photo Series =			
STRATA RATING FACTORS		BURN SEVERITY SCALE						FACTOR SCORES	
		No Effect	Low	Moderate	High				
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
A. SUBSTRATES									
% Pre-Fire Cover: Litter =		Duff =	Soil/Rock =	Pre-Fire Depth (inches): Litter =		Duff =	Fuel Bed =		
Litter/Light Fuel Consumed		Unchanged	--	50% litter	--	100% litter	>80% light fuel	98% Light Fuel	Σ =
Duff		Unchanged	--	Light char	--	50% loss deep char	--	Consumed	N =
Medium Fuel, 3-8 in.		Unchanged	--	20% consumed	--	40% consumed	--	>60% loss, deep ch	Σ =
Heavy Fuel, > 8 in.		Unchanged	--	10% loss	--	25% loss, deep char	--	>40% loss, deep ch	N =
Soil & Rock Cover/Color		Unchanged	--	10% change	--	40% change	--	>80% change	Σ =
CBI_1									N =
B. HERBS, LOW SHRUBS AND TREES LESS THAN 3 FEET (1 METER):									
%Pre-Fire Cover =		% Enhanced Growth =							
% Foliage Altered (blk-brn)		Unchanged	--	30%	--	80%	95%	100% + branch loss	Σ =
Frequency % Living		100%	--	90%	--	50%	<20%	None	N =
Colonizers		Unchanged	--	Low	--	Moderate	High-Low	Low to None	Σ =
Spp. Comp. - Rel. Abund.		Unchanged	--	Little change	--	Moderate change	--	High change	N =
CBI_1									Σ =
C. TALL SHRUBS AND TREES 3 TO 16 FEET (1 TO 5 METERS):									
%Pre-Fire Cover =		% Enhanced Growth =							
% Foliage Altered (blk-brn)		0%	--	20%	--	60-90%	> 95%	Significant branch loss	Σ =
Frequency % Living		100%	--	90%	--	30%	< 15%	< 1%	N =
% Change in Cover		Unchanged	--	15%	--	70%	90%	100%	Σ =
Spp. Comp. - Rel. Abund.		Unchanged	--	Little change	--	Moderate change	--	High Change	N =
CBI_1									Σ =
D. INTERMEDIATE TREES (SUBCANOPY, POLE-SIZED TREES)									
%Pre-Fire Cover =		Pre-Fire Number Living =		Pre-Fire Number Dead =					
% Green (Unaltered)		100%	--	80%	--	40%	< 10%	None	Σ =
% Black (Torch)		None	--	5-20%	--	60%	> 85%	100% + branch loss	N =
% Brown (Scorch/Girdle)		None	--	5-20%	--	40-80%	< 40 or > 80%	None due to torch	Σ =
% Canopy Mortality		None	--	15%	--	60%	80%	%100	N =
Char Height		None	--	1.5 m	--	2.8 m	--	> 5 m	Σ =
CBI_1									N =
Post Fire: %Girdled =		%Felled =		%Tree Mortality =					
E. BIG TREES (UPPER CANOPY, DOMINANT, CODOMINANT TREES)									
%Pre-Fire Cover =		Pre-Fire Number Living =		Pre-Fire Number Dead =					
% Green (Unaltered)		100%	--	95%	--	50%	< 10%	None	Σ =
% Black (Torch)		None	--	5-10%	--	50%	> 80%	100% + branch loss	N =
% Brown (Scorch/Girdle)		None	--	5-10%	--	30-70%	< 30 or > 70%	None due to torch	Σ =
% Canopy Mortality		None	--	10%	--	50%	70%	%100	N =
Char Height		None	--	1.8 m	--	4 m	--	> 7 m	Σ =
CBI_1									N =
Post Fire: %Girdled =		%Felled =		%Tree Mortality =					
Community Notes/Comments:		CBI = Sum of Scores / N Rated:		Sum of Scores		N Rated		CBI	
		Understory (A+B+C)							
		Overstory (D+E)							
		Total Plot (A+B+C+D+E)							
% Estimates: 20 m Plot: 314 m ² 1% = 1x3 m 5% = 3x5 m 10% = 5x5 m 30 m Plot: 707 m ² 1% = 1x7 m (<2x4 m) 5% = 3x7 m 10% = 5x7 m Strata and Factors are defined on the reverse side of this form. See the FFI Manual (Landscape Assessment, Chapter 2, available at http://frames.nbs.gov/frames) for more information.									

Al segon plot (figura 38), predominava la vegetació únicament arbustiva. Per tant, el CBI va ser analitzat per a aquest tipus de vegetació i pel substrat. També en aquest cas les restes vegetals es van observar completament carbonitzades. Cal destacar que en aquest plot el substrat és més rocós que no pas al plot 1, on el substrat estava recobert de la pinassa cremada. Com al plot 1, aquest indret (en el moment de la visita) també estava recobert de vegetació colonitzadora. Amb un recobriment total del substrat del 45%, les espècies més destacables són el garri (Quercus coccifera) amb un 10% de recobriment, llentiscle (Pistacea lentiscus), 10% de recobriment; bruc boal (Erica arborea), estepa blanca (Cistus albidus), bracera (Centaurea aspera), botja d'escombres (Dorycnium pentaphyllum) i pinell (Coris monspeliensis) totes elles amb un 5% de recobriment. Dins de la família de les poàcies cal destacar el llistó (Brachypodium retusum). Al mapa (figura 33) aquest plot està etiquetat com

de severitat mitjana. Tot i això, pel que vàrem poder observar a la zona afectada l'afectació va ser màxima.

La diferència entre el que vàrem observar amb l'estudi de les imatges i el treball a camp pot ser degut a:

- El sòl en el plot 2 és tot roca, per tant, pot ser que la radiometria sigui diferent que en el plot 1, on el sotabosc era color fosc per la pinassa cremada.
- La imatge posterior a l'incendi no va ser presa just després del succés sinó dos mesos després. Per tant, el creixement de la vegetació ha variat l'obtenció de la radiometria esperada.

FFI -- BURN SEVERITY -- COMPOSITE BURN INDEX										
PD - Abridged		Examiners:			Fire Name:					
Administrative Unit		Project Unit			Macro Plot					
Field Date mmddyyyy	/ /	Fire Date mmddyyyy			/					
Plot Aspect		Plot % Slope			UTM Zone					
Plot Diameter Overstory		UTM E plot center			GPS Datum					
Plot Diameter Understory		UTM N plot center			GPS Error (m)					
Number of Plot Photos		Plot Photo IDs								
BI - Long Form		% Burned 100 feet (30 m) diameter from center of plot =				Fuel Photo Series =				
STRATA RATING FACTORS		BURN SEVERITY SCALE						FACTOR SCORES		
		No Effect	Low	Moderate	High					
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0		
A. SUBSTRATES										
% Pre-Fire Cover: Litter =		Duff =	Soil/Rock =	Pre-Fire Depth (inches): Litter =		Duff =	Fuel Bed =			
Litter/Light Fuel Consumed	Unchanged	--	50% litter	--	100% litter	--	>80% light fuel	98% Light Fuel		
Duff	Unchanged	--	Light char	--	50% loss deep char	--	Consumed			
Medium Fuel, 3-8 in.	Unchanged	--	20% consumed	--	40% consumed	--	>60% loss, deep ch			
Heavy Fuel, > 8 in.	Unchanged	--	10% loss	--	25% loss, deep char	--	>40% loss, deep ch			
Soil & Rock Cover/Color	Unchanged	--	10% change	--	40% change	--	>80% change			
CBI_1										
B. HERBS, LOW SHRUBS AND TREES LESS THAN 3 FEET (1 METER):										
%Pre-Fire Cover =		% Enhanced Growth =								
% Foliage Altered (blk-brn)	Unchanged	--	30%	--	80%	95%	100% + branch loss			
Frequency % Living	100%	--	90%	--	50%	< 20%	None			
Colonizers	Unchanged	--	Low	--	Moderate	High-Low	Low to None			
Spp. Comp. - Rel. Abund.	Unchanged	--	Little change	--	Moderate change	--	High change			
CBI_1										
C. TALL SHRUBS AND TREES 3 TO 16 FEET (1 TO 5 METERS):										
%Pre-Fire Cover =		% Enhanced Growth =								
% Foliage Altered (blk-brn)	0%	--	20%	--	60-90%	> 95%	Significant branch loss			
Frequency % Living	100%	--	90%	--	30%	< 15%	< 1%			
% Change in Cover	Unchanged	--	15%	--	70%	90%	100%			
Spp. Comp. - Rel. Abund.	Unchanged	--	Little change	--	Moderate change	--	High Change			
CBI_1										
D. INTERMEDIATE TREES (SUBCANOPY, POLE-SIZED TREES)										
%Pre-Fire Cover =		Pre-Fire Number Living =		Pre-Fire Number Dead =						
% Green (Unaltered)	100%	--	80%	--	40%	< 10%	None			
% Black (Torch)	None	--	5-20%	--	60%	> 85%	100% + branch loss			
% Brown (Scorch/Girdle)	None	--	5-20%	--	40-80%	< 40 or > 80%	None due to torch			
% Canopy Mortality	None	--	15%	--	60%	80%	%100			
Char Height	None	--	1.5 m	--	2.8 m	--	> 5 m			
CBI_1										
Post Fire: %Girdled =		%Felled =		%Tree Mortality =						
E. BIG TREES (UPPER CANOPY, DOMINANT, CODOMINANT TREES)										
%Pre-Fire Cover =		Pre-Fire Number Living =		Pre-Fire Number Dead =						
% Green (Unaltered)	100%	--	95%	--	50%	< 10%	None			
% Black (Torch)	None	--	5-10%	--	50%	> 80%	100% + branch loss			
% Brown (Scorch/Girdle)	None	--	5-10%	--	30-70%	< 30 or > 70%	None due to torch			
% Canopy Mortality	None	--	10%	--	50%	70%	%100			
Char Height	None	--	1.8 m	--	4 m	--	> 7 m			
CBI_1										
Post Fire: %Girdled =		%Felled =		%Tree Mortality =						
Community Notes/Comments:		CBI = Sum of Scores / N Rated:		Sum of Scores		N Rated		CBI		
		Understory (A+B+C)								
		Overstory (D+E)								
		Total Plot (A+B+C+D+E)								
<small>% Estimators: 20 m Plot: 314 m² 1% = 1x3 m 5% = 6x3 m 10% = 10x3 m 15% = 15x3 m 20% = 20x3 m 25% = 25x3 m 30% = 30x3 m 35% = 35x3 m 40% = 40x3 m 45% = 45x3 m 50% = 50x3 m 55% = 55x3 m 60% = 60x3 m 65% = 65x3 m 70% = 70x3 m 75% = 75x3 m 80% = 80x3 m 85% = 85x3 m 90% = 90x3 m 95% = 95x3 m 100% = 100x3 m 30 m Plot: 707 m² 1% = 1x7 m (<2x4 m) 5% = 5x7 m 10% = 10x7 m 15% = 15x7 m 20% = 20x7 m 25% = 25x7 m 30% = 30x7 m 35% = 35x7 m 40% = 40x7 m 45% = 45x7 m 50% = 50x7 m 55% = 55x7 m 60% = 60x7 m 65% = 65x7 m 70% = 70x7 m 75% = 75x7 m 80% = 80x7 m 85% = 85x7 m 90% = 90x7 m 95% = 95x7 m 100% = 100x7 m Strata and Factors are defined on the reverse side of this form. See the FIREMON Landscape Assessment, Chapter 2, available at http://frames.nhri.gov/firemon, for more information.</small>										

Per últim, a camp, el plot 3 (figura 39), va resultar molt semblant al plot 2. L'única diferència visible és que la cobertura vegetal existent abans de l'incendi era menor que en el plot 2. Les espècies colonitzadores eren les mateixes. En aquest plot, segons el treball amb les imatges de satèl·lit, la severitat ha sigut mínima, no obstant això, el que podem observar al camp és que l'indret ha quedat molt afectat, tant com el plot 2. Basant-nos en l'estudi de les imatges de

satèl·lit, la diferència entre el plot 2 i el plot 3 és 1 grau d'afectació, però el treball de camp ens indica que l'afectació ha sigut la mateixa, és a dir, màxima. La diferència entre l'observació directa i l'índex calculat (dNBR) pot ser deguda, com també en el plot 2, a la interferència del sòl i la vegetació a la radiometria de les imatges.

10 Cas d'estudi 2: Estat de la Vegetació

10.1 Presentació

Després d'un incendi la vegetació es recupera de manera natural, la gran majoria de vegades lentament. Primer, esperem una recuperació de la vegetació herbàcia que eviti la destrucció del sòl, després una regeneració de la vegetació arbòria, que trigarà anys. Són nombrosos els estudis sobre regeneració de la vegetació, comparant les diferents tècniques possibles: no fer res, actuar amb maquinària pesant per retirar la biomassa cremada, invertir en actuacions diverses, etc. Sigui com sigui, interessa un monitoratge de l'evolució de la coberta vegetal.

S'ha seleccionat l'incendi d'Òdena per a iniciar un seguiment de la coberta vegetal, pel fet que malauradament és de força extensió i a més pel fet que es va produir el 2015, així es pot començar un seguiment amb imatges SENTINEL 2.

Aquest cas d'estudi el vàrem realitzar sobre l'incendi que es va produir el 26/07/2015 a Òdena, entre les comarques de l'Anoia i del Bages, a la província de Barcelona. L'incendi va afectar, aproximadament unes 1316 hectàrees i va ser l'incendi de màxima extensió l'any 2015. Majoritàriament la zona afectada era de pi blanc (*Pinus halepensis*) i ocupava gairebé el 70% del total. Aquest bosc estava en fase de recuperació d'un altre incendi produït a 1986 (Figura 40).

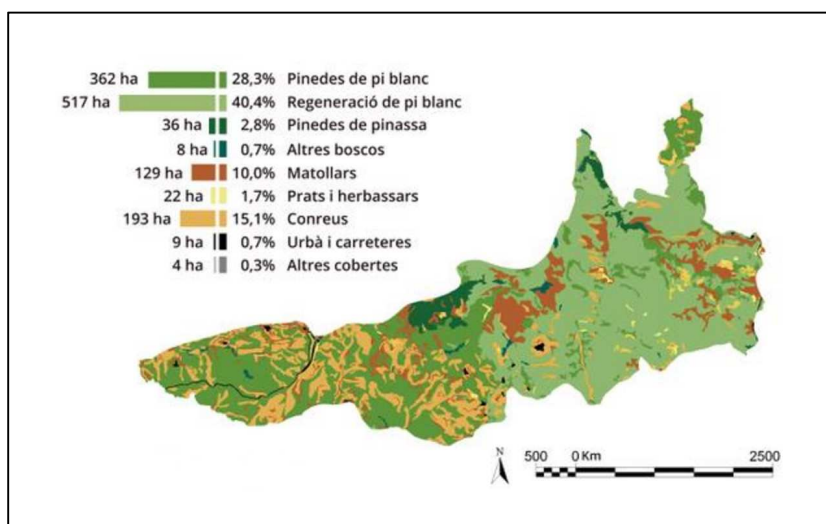


Figura 40: Imatge de percentatge de vegetació afectada. Font: INFOCAT

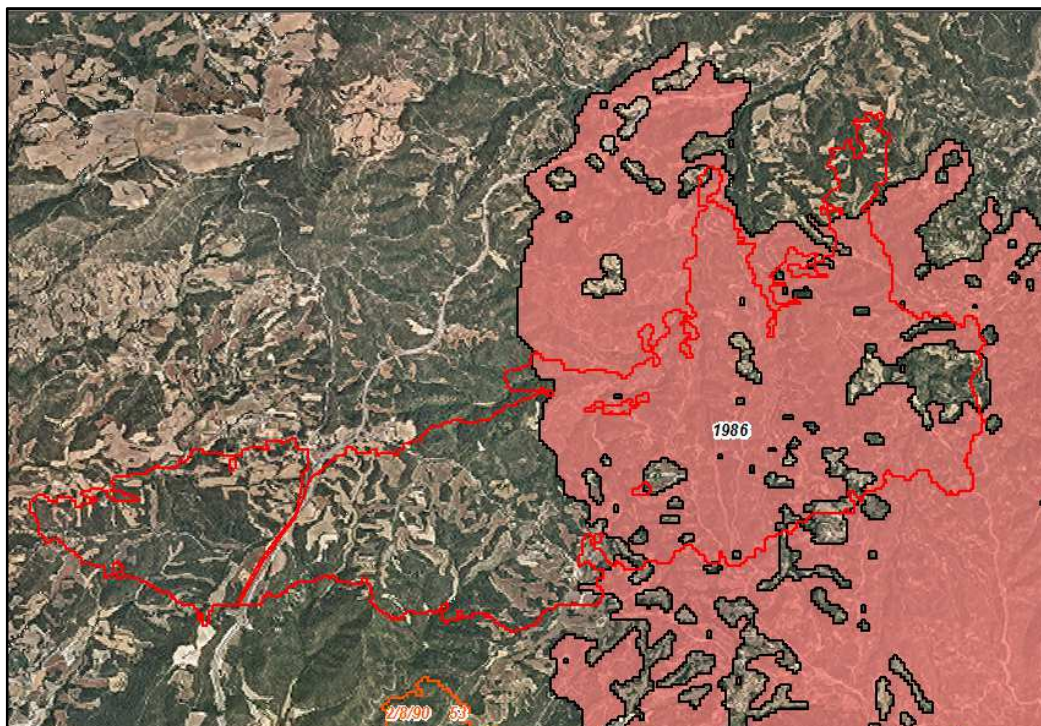


Figura 41: Representació de l'incendi de 1986 (delineat en negre i ombrejat en vermell), en comparació al més recent (delineat en vermell)

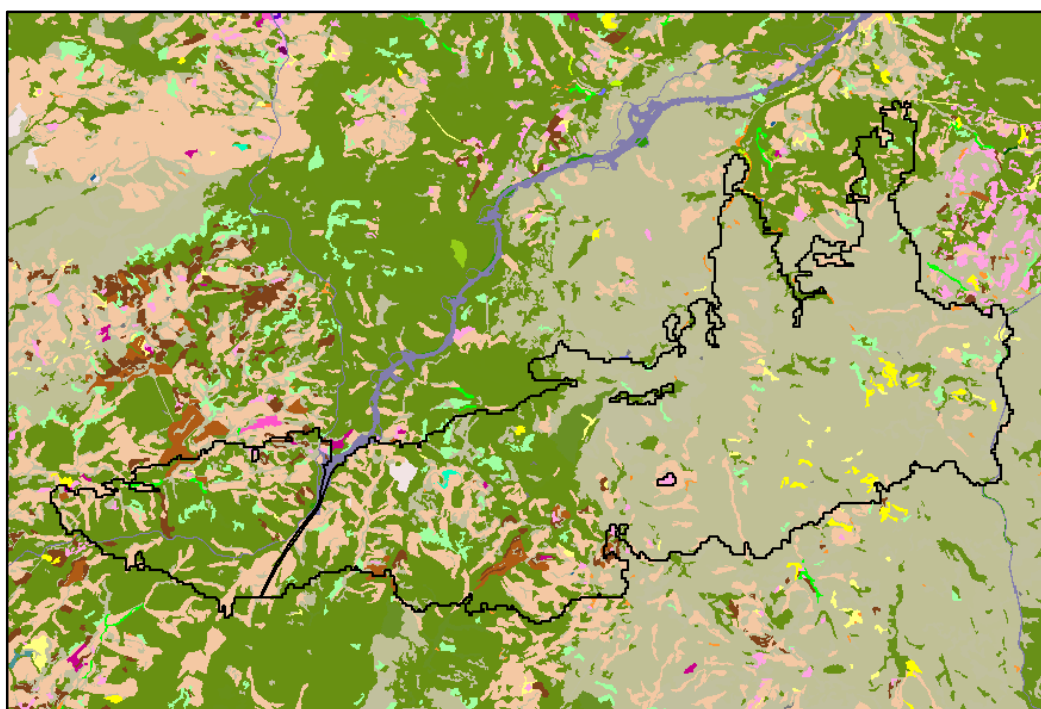


Figura 42. Òdena. Límit de l'àrea cremada superposada al MCSC4 (2009): es va cremar majoritàriament pineda de pi blanc ■ i matollar ■

10.2 Objectiu

El principal objectiu d'aquest estudi és la utilització d'imatges SENTINEL 2 en l'anàlisi de l'evolució de la vegetació, concretament en un territori cremat.

10.2.1 Objectiu principal

L'objectiu principal d'aquest cas d'estudi és la realització de mapes on es mostra la diferència en el temps (després de l'incendi) respecte a alguns índexs de vegetació.

10.2.2 Objectius transversals

Aprofundiment en el coneixement de diferents índexs de vegetació i posada en practica d'alguns dels coneixements adquirits durant el màster, pel seu anàlisi, validació i representació.

10.2.3 Aproximació a la recerca

Els índexs de vegetació (IV) són paràmetres calculats a partir de valors de reflectància a diferents longituds d'ona. Pretenen extreure la informació relacionada amb la vegetació minimitzant la influència d'altres factors externs com les propietats òptiques del sòl, la irradiància solar, etc. L'índex de vegetació ideal va ser descrit per *Jackson et al (1983)* com *“aquell particularment sensible a la coberta vegetal, insensible a la brillantor i el color del sòl i amb poca afectació per les perturbacions atmosfèriques, els factors mediambientals i la geometria d'il·luminació i d'observació”*. Evidentment, l'índex de vegetació ideal no existeix i els que es troben en la bibliografia són aproximacions a la perfecció descrita per Jackson. Més del 90% de la informació espectral d'una coberta vegetal està continguda en la banda vermella i infraroig proper, són aquestes dues bandes les que s'utilitzen principalment.

Els índexs de vegetació que hem utilitzat en aquest treball són:

10.2.4 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Aquest índex normalitzat (la normalització que realitza minimitza l'efecte de la degradació de calibratge del sensor i la influència dels efectes atmosfèrics) ens permet obtenir una aproximació de la verdor (biomassa relativa). Les absorcions del pigment de la clorofil·la en la banda vermella i l'alta reflectància dels materials de les plantes en la banda propera a l'infraroig fa que aquest índex sigui tan utilitzat.

NDVI s'utilitza a tot el món per fer seguiments de les sequeres, supervisar i predir la producció agrícola, ajudar en la predicció de les zones amb risc d'incendi i cartografiar la desertització. El NDVI és molt utilitzat en el seguiment de la vegetació global perquè ajuda a compensar els canvis en les condicions d'il·luminació, pendent de la superfície, orientació i altres factors estranys (*Lillesand, 2004*).⁽⁴⁾

La reflexió diferencial en les bandes vermella e infraroja (IR) permet supervisar la densitat e intensitat del creixement de la vegetació verda utilitzant la reflectivitat espectral de la radiació solar. Les fulles verdes solen presentar una millor reflexió en el rang de longituds d'ona properes l'infraroig que en el rang de longitud d'ona visible (RGB). Quan les fulles tenen necessitat d'aigua o bé estan malaltes o mortes, es tornen grogues i es reflecteix menys en el rang de longituds d'ona properes l'infraroig (figura 43).

El càlcul del NDVI crea una banda única que bàsicament representa la verdor. Pot variar en funció del sòl, estació fenològica, situació hídrica del territori i climatologia de l'àrea.

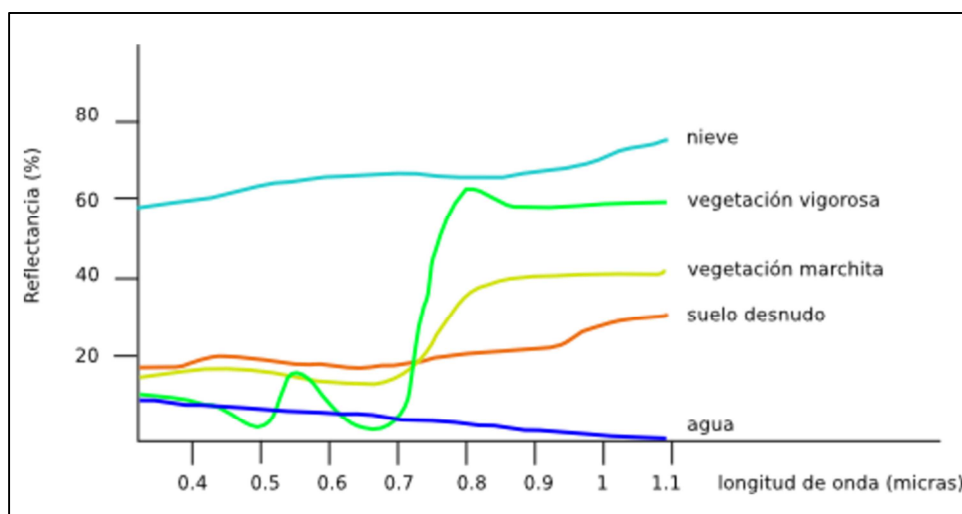


Figura 43: Gràfica de les diferents longituds d'ona respecte a l'objecte

10.2.5 Modified chlorophyll absorption in reflectance index (MCARI)

10.2.5.1. Clorofil·la: què és, com funciona i quina firma espectral té

La clorofil·la és el pigment fotoreceptor responsable de la primera etapa en la transformació de l'energia de la llum en energia química, i conseqüentment la molècula responsable de l'existència de vida a la Terra. Es troba en orgànuls específics, els cloroplasts.

La funció de la clorofil·la és l'absorció d'energia lluminosa en la variant de la fotosíntesi que es denomina fotosíntesi oxigènica. El principal paper de la clorofil·la en la fotosíntesi és l'absorció de fotons de llum amb la conseqüent excitació d'un electró. Aquest electró excitat cedeix la seva energia, tornant a l'estat normal, a algun pigment auxiliar, on es repeteix el procés. Al final l'electró excitat facilita la reducció de la molècula, quedant així completada la conversió d'una petita quantitat d'energia lluminosa en energia química.

La clorofil·la té típicament dos punts d'absorció en l'espectre visible, un a la llum blava (400-500 nm de longitud d'ona), i l'altre al vermell (600-700nm); no obstant això, reflecteixen la part mitjana de l'espectre, la més nodrida i corresponent al color verd (500-600nm). Aquesta és la raó per la qual la clorofil·la té el color verd.

10.3 Metodologia

10.3.1 Introducció

10.3.2 Cerca d'imatges

Les imatges utilitzades per fer aquest cas d'estudi han sigut les mateixes que vàrem utilitzar per al cas de l'incendi d'Albinyana, per tant, em remeto al punt 9.3.2.

10.3.3 Programari

El programari utilitzat, una vegada creades les subescenes de la zona d'Òdena amb les coordenades representades en la següent taula, ha sigut l'ArcMap.

Àrea TL	388010	4613210
---------	--------	---------

BR

397910

4607230

Taula 06: Coordenades de la subescena de l'incendi d'Òdena. TL: 'Top Left' o cantonada superior esquerra; BR: 'Bottom Right' o cantonada inferior dreta. Coordenades en WGS84, UTM 31 N

10.4 Implementació

A partir de la creació de les subescenes (figura 44) i les diferents combinacions de bandes per als índexs que volem estudiar extraurem diferents mapes comparatius en el temps. El primer mapa és del dia 03/12/2015, cinc mesos després de l'incendi. El segon mapa està realitzat de la imatge captada pel satèl·lit SENTINEL 2 el dia 12/03/2016, és a dir, vuit mesos després de l'incendi. Amb la comparació d'aquests mapes podrem diferenciar com ha evolucionat tant el NDVI com el MCARI.

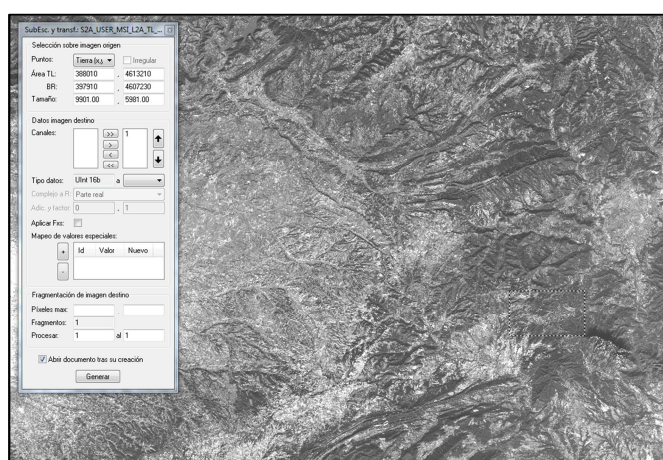


Figura 44: Imatge de la creació de la subescena

10.4.1 NDVI

Per calcular aquest índex vàrem utilitzar l'**Analyst Image** de l'ArcMap que el podrem trobar a la finestra **Windows** del mateix programari. Seleccionant les imatges de la banda 8 i la banda 12, el mateix programa ens fa una equació on ens dona un resultat que oscil·la entre -1 i 1, sent els valor negatius el que representen una salut dolenta de la vegetació. Per tant, els valors que oscil·len entre 0 i 1 són valors que progressivament ens indiquen que la vegetació és més saludable, sent el valor 1 el màxim vigor vegetatiu (Figura 45).

La fórmula utilitzada per obtenir el NDVI és:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}}, \text{ és a dir;}$$

$$\text{NDVI} = \frac{8A - 4}{8A + 4}$$

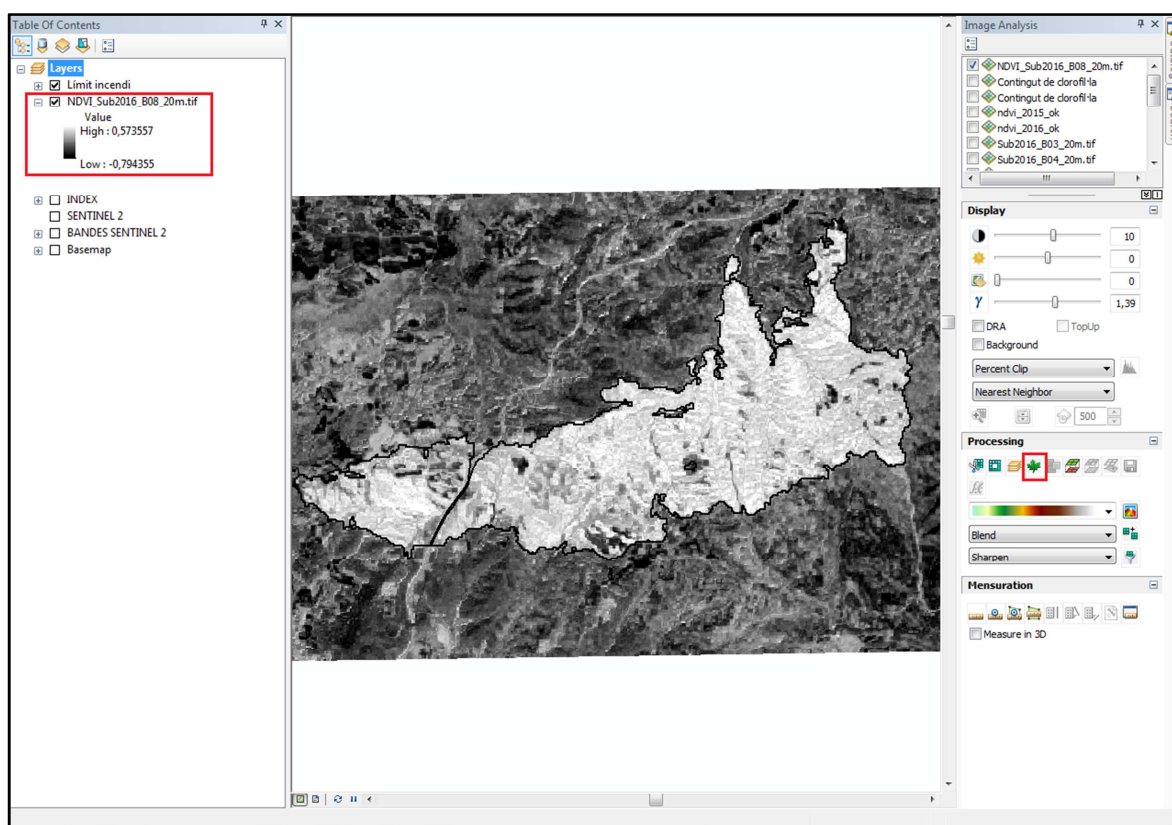


Figura 45: Creació del NDVI mitjançant la funció Image Analyst a ArcMap

Cal remarcar que per a què la comparació sigui el més adient possible, a més que la resolució espacial, com ja hem comentat amb anterioritat, ha de ser la mateixa, també ho ha de ser la simbologia del mapa. Això vol dir que cada rang de valors té un color determinat (en els nostres mapes l'oscil·lació és de 0,2 unitats). Per tant, quan comparem, sabrem que en tots els mapes el color determina una caracterització única per a aquell valor (Taula 07). Aquest és el motiu pel qual la llegenda canvia en el mapa de l'any 2015 i l'any 2016, encara que els colors que representen tenen el mateix valor en cada mapa.

Nivell d'afectació	Valor de l'índex	R	G	B
1	De -1 a -0,8	255	34	0
2	De -0,8 a -0,6	255	98	0
3	De -0,6 a -0,4	255	145	0
4	De -0,4 a -0,2	255	187	0
5	De -0,2 a 0	255	234	0
6	De 0 a 0,2	233	235	0
7	De 0,2 a 0,4	164	196	0
8	De 0,4 a 0,6	107	161	0
9	De 0,6 a 0,8	60	128	0
10	De 0,8 a 1	0	97	0

Taula 07: Colors RGB de la simbolització

10.4.2 MCARI

Per calcular aquest índex vàrem utilitzar el *raster calculator* (**Spatial Analyst Tools** → **Map Algebra** → **Raster Calculator**) i vàrem introduir l'equació per calcular aquest índex:

$$\text{MCARI} = (\text{NIR} - \text{R}) - 0,2(\text{NIR} - \text{G})(\text{NIR} / \text{R}), \text{ és a dir;}$$

$$\text{MCARI} = (5 - 4) - 0,2(5 - 3)(5 / 4)$$

El resultat dóna uns valors entre 3900 i -400. Aquests valors són representats amb un nombre determinat i simbolitzats amb una gamma de colors determinada.

La classificació de les dades obtingudes les determinem per *quantile*. Aquesta eina és útil per quan el nombre de valors màxims estan esbiaixats en un costat de l'histograma (figura 46).

Per últim comentar que la representació de les classes serà representada utilitzant la mateixa metodologia que amb el NDVI però adequada per aquest índex.

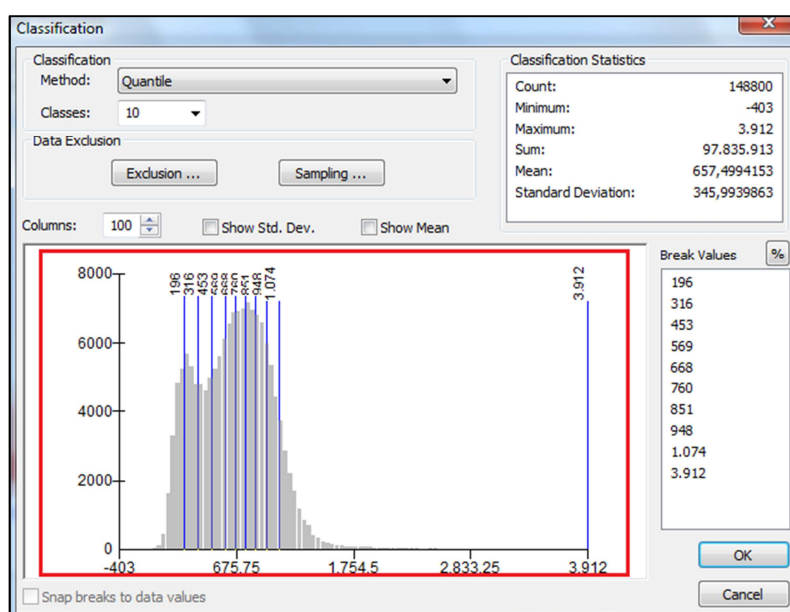


Figura 46: imatge de la representació de les dades esbiaixades

10.5 Resultats preliminars i valors

10.5.1 NDVI

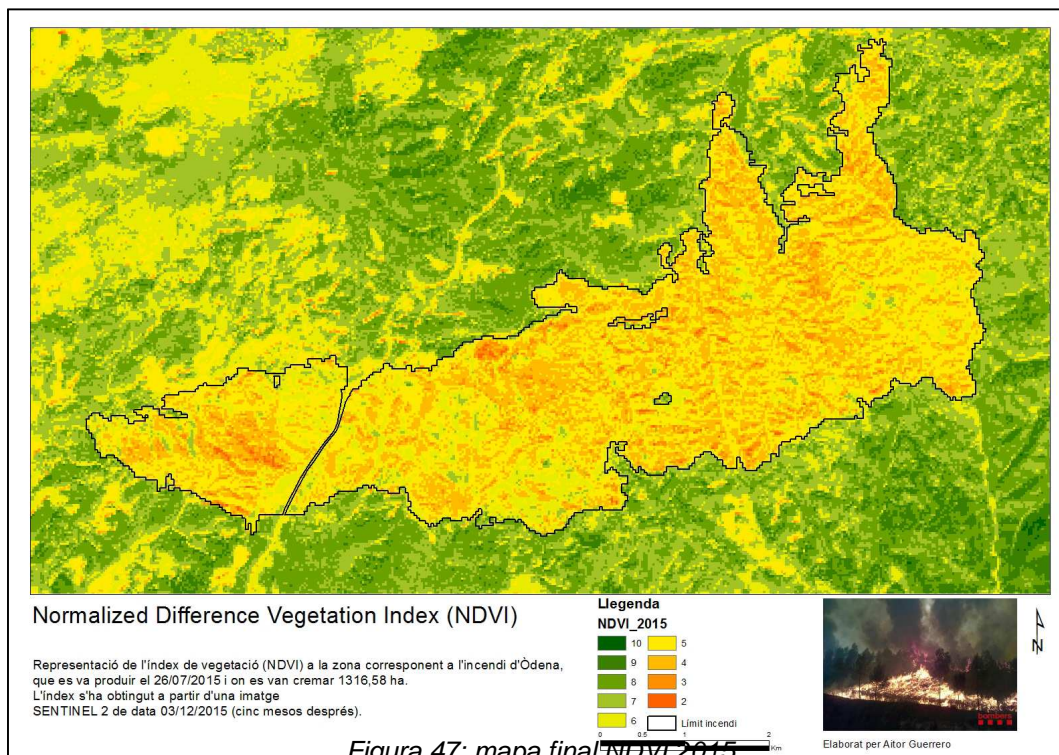


Figura 47: mapa final NDVI 2015

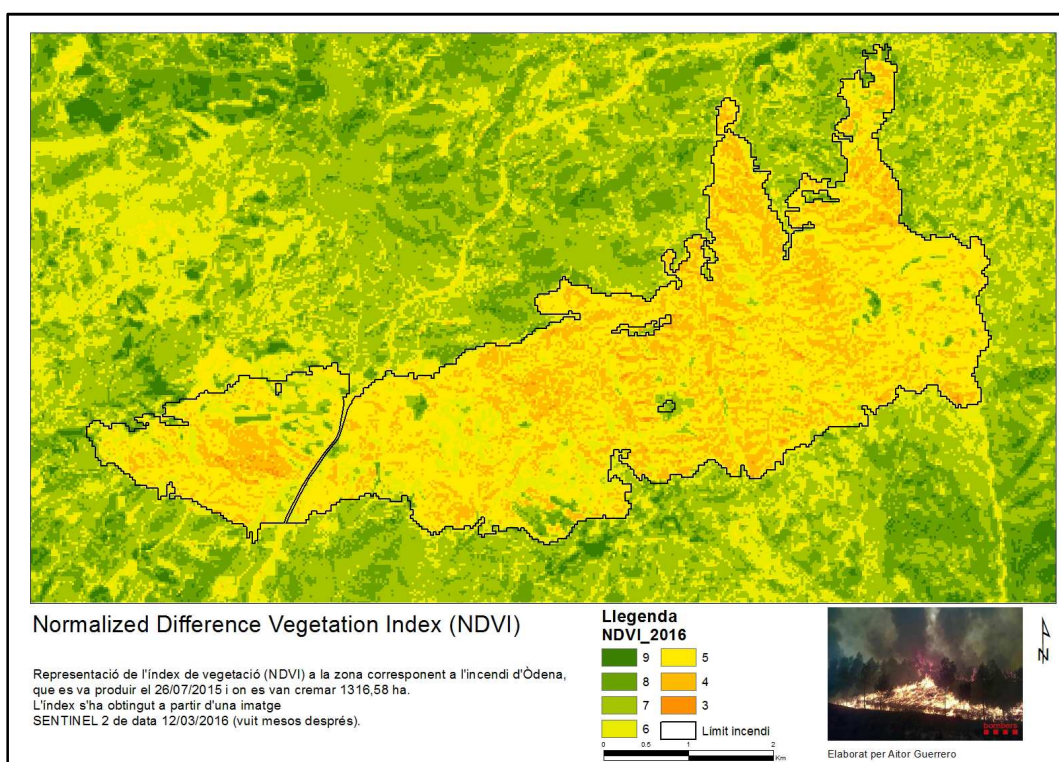


Figura 48: mapa final NDVI 2016

10.5.2 MCARI

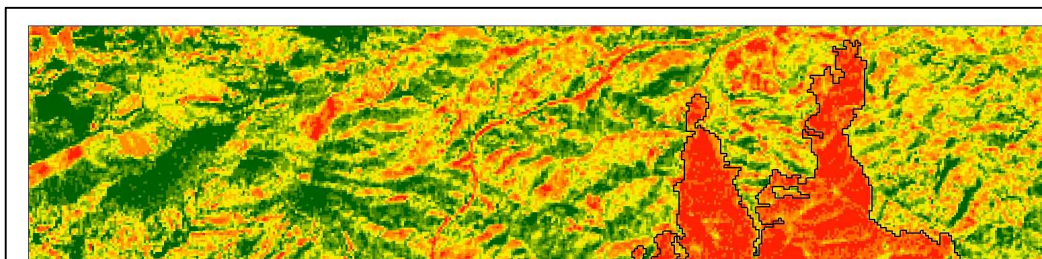


Figura 49: mapa final MCARI 2015

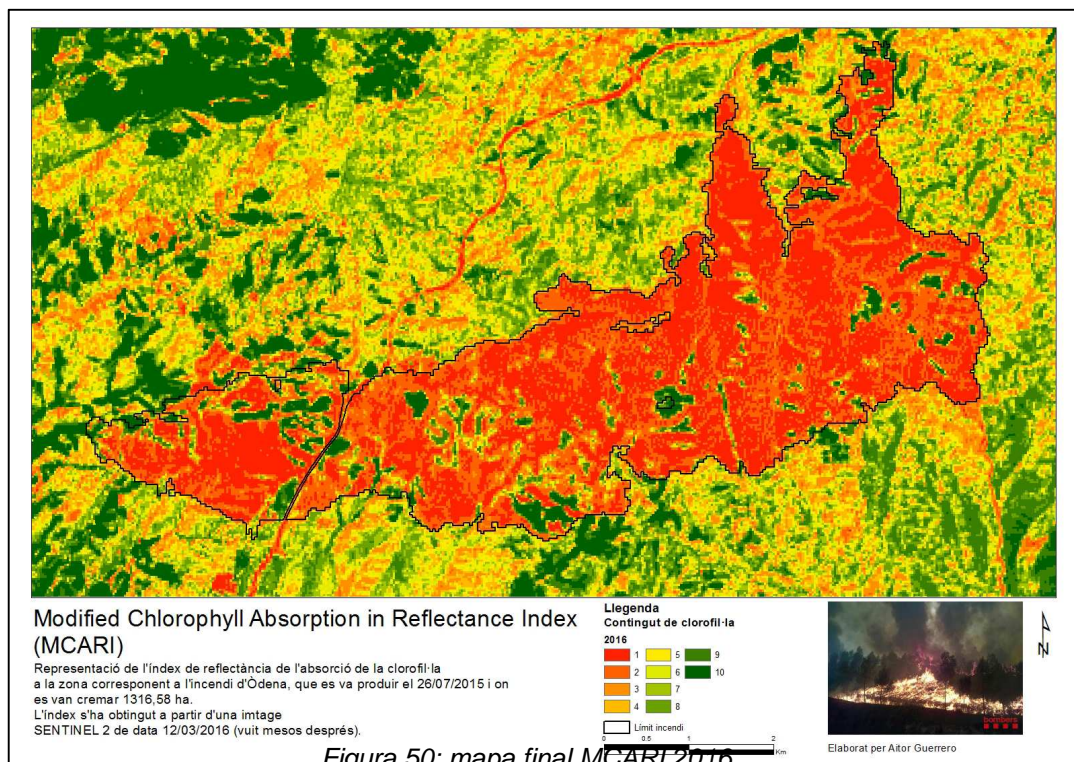


Figura 50: mapa final MCARI 2016

Pel que fa al NDVI (figures 47 i 48) podem observar a la figura 47 (03/12/2015) com la zona encara no està recuperada. Han passat 5 mesos des de l'incendi i excepte diversos punts concrets, on la recuperació comença a ser visible, la gran majoria està greument afectada amb valor molt pròxim al màxim. A la figura 48 (12/03/2016), s'observa una milloria en la recuperació general. Deixen d'haver-hi valors d'afectació màxims i han millorat aquelles zones on en la figura 47 ja es veia milloria.

Pel que fa al MCARI (figures 49 i 50) podem observar a la figura 49 (03/12/2015) com l'índex de clorofil·la ens indica que el grau d'afectació vegetal és màxim gairebé a tota la zona afectada. Com passa amb el NDVI, després de 5 mesos des de l'incendi, hi ha pocs punts on es pot entrellucar una petita recuperació. A la figura 50 (12/03/2016) observem com aquests punts de recuperació vegetativa han millorat i han augmentat la seva mida.

Cal destacar que la zona on es visualitza una millor recuperació, tant amb el NDVI com el MCARI, són sobretot zones de conreu. La zona de pi blanc que va ser afectada, tal com podem observar a la figura 42, i segons l'índex de clorofil·la (que és el que ens dona la informació per saber el creixement vegetatiu) encara està en fase de recuperació i a més, aparentment sense cap millora.

11 Conclusions

11.1 Conclusions

Atenent als objectius inicials proposats, a les metodologies i procediments utilitzats i resultats obtinguts, com a principals conclusions podem destacar:

- Les imatges SENTINEL 2 suposen un avanç dins de les dades d'observació de la Terra de lliure distribució, pel seu augment en la resolució espacial i espectral. Pel que fa a l'ICGC permetrà la continuïtat i millora dels projectes que es duen a terme fins ara amb imatges LANDSAT.
- La millora en la resolució espacial del SENTINEL 2 (10 metres), envers la resolució espacial dels LANDSAT (20 metres), ens proporciona una millor qualitat d'anàlisi, important en aquells incendis de petita envergadura, ja que la informació obtinguda a escala detallada és més acurada.
- La millora en la resolució radiomètrica també és un gran avanç en comparació al LANDSAT, ja que a millor qualitat radiomètrica, millor informació podem obtenir per píxel i per tant, més fiable és la informació, i de millor qualitat l'anàlisi.
- La resolució temporal del SENTINEL 2 proporciona un major nombre d'imatges en un termini de temps més curt (5 dies quan estiguin desplegats els SENTINEL 2 A i B), envers al LANDSAT (16 dies). Això garanteix poder obtenir informació més propera al monitoratge ambiental que vulguem analitzar.
- El treball de camp realitzat durant l'estada de l'estudi, ens va ajudar a entendre la importància de poder treballar amb les imatges les més properes possibles a la data de l'alteració. Ens vàrem adonar que en el plot 3 la informació que ens proporcionava l'anàlisi no era adient amb la informació extreta del treball de camp. Això, va ser degut probablement a què la imatge utilitzada de després de l'incendi a l'anàlisi era massa tardana. És per això que cal remarcar la gran importància de la resolució temporal del SENTINEL 2. També cal considerar que l'àrea d'estudi és l'apropiada per a la pràctica, però no té una superfície prou representativa per valorar la bondat de l'índex (que ja ho ha estat vastament, segons la recerca bibliogràfica realitzada).
- Podem afirmar, segons els diferents estudis esmentats anteriorment i la nostra pròpia experiència, que les bandes utilitzades, 8 i 12, són les òptimes per tal de calcular el dNBR.
- La utilització d'Instamaps ens proporciona una visualització més adient a la realitat gràcies a la utilització del 3D. Instamaps ens facilita la representació de la informació, que ens pot ajudar a entendre el comportament de l'incendi i el perquè del diferent grau d'afectació.

- Un dels objectius principals de l'estudi (utilització d'imatges SENTINEL 2 en l'anàlisi d'incendis i la comprovació de la seva idoneïtat respecte a les imatges LANDSAT) ha sigut satisfactori, ja que, hem pogut comprovar que l'anàlisi d'incendis mitjançant imatges del SENTINEL 2 s'ha pogut realitzar amb èxit. És més, s'ha augmentat la qualitat de la informació. Per tant, podem afirmar que l'anàlisi dels incendis és factible i recomanable fer-los amb les imatges del SENTINEL 2 envers o complementant al LANDSAT.
- L'NDVI és un índex que ens proporciona una informació bastant global de l'estat de la vegetació, hem constatat la seva adequació amb l'índex de clorofil·la (MCARI).
- La comparació temporal de tots dos índexs (NDVI i MCARI), mostra diferències de l'estat de la vegetació i ens permet començar a fer una anàlisi de quin pot ser l'evolució de la zona afectada per l'incendi.
- No hi ha una relació directa quan comparem els graus màxims d'afectació entre l'índex del NDVI i el MCARI. Sí que hi ha correlació en la informació associada en els punts on s'observa la recuperació.
- La zona de millor recuperació post-incendi és aquella zona destinada a conreu, i per tant, amb una activitat humana major, la qual cosa ajuda aquestes zones a tenir una recuperació més ràpida, el més segur, per l'interès econòmic.

11.2 Recomanacions i lliçons apreses.

- L'experiència, a dia d'avui, mostra que encara cal esperar una mica de rodatge per part de l'ESA en l'aspecte d'accés i procés de les imatges. Per exemple, la correcció atmosfèrica de les imatges els hi fa perdre la georeferència (fet reportat en els blogs relacionats).
- Pel que fa als índexs de vegetació es podria aprofundir en un futur estudi i analitzar més índexs i augmentar el nombre d'anàlisis per poder arribar a conclusions més fefaents.
- Una de les vessants molt recomanables, de gran interès futur i amb grans possibilitats d'explotació és la plataforma Instamaps. Aquest programari creat per l'IGGC és i serà una eina amb un gran potencial. En el cas dels incendis, l'opció de poder visualitzar el mapa en 3D ens dona una perspectiva molt positiva, ja que pot ajudar a entendre molt millor quina ha sigut l'evolució d'un incendi en poder ser mostrat amb la topografia.
- Les pràctiques m'han ajudat a afirmar aquells coneixements ja adquirits de forma autodidàctica. He après a analitzar les superfícies cremades, matèria que desconeixia, i com fer una gestió òptima mitjançant teledetecció, quins són els punts forts, febles, carències i com amb les imatges de SENTINEL 2 podem ser capaços de monitorar la severitat dels incendis de forma efectiva. Aquestes imatges ens proporcionen i sobretot, ens proporcionaran una capacitat més efectiva.
- Caldria fer un exercici estadístic per esbrinar quin és el percentatge per tipus d'afectació i per tant, poder saber exactament com cada tipus d'afectació va evolucionant al llarg del temps.
- Caldria continuar amb l'estudi dels índexs durant l'època primaveral, per saber, com ha evolucionat la zona més afectada. Es proposa aquesta època perquè és en la que fenològicament la vegetació està més activa i per tant podríem observar més canvis, sobretot amb el MCARI.
- Es recomana fer un estudi exhaustiu de camp. Conèixer de primera mà quin ha sigut el combustible, el pendent, el percentatge de cobertura arbustiva, arbòria, etc., són característiques essencials per fer una millor anàlisi i a més, saber si la informació obtinguda de les dades del satèl·lit es corroboren amb la realitat al camp.

12 Referències bibliogràfiques / Web

- (1) CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones Rialp, 1996.
- (2) Miller, Jay D., and Andrea E. Thode. "Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)." *Remote Sensing of Environment* 109.1 (2007): 66-80.
- (3) TURCO, Marco, et al. Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment. *Climate change*, 2014, 125. 3-4: 369-380.
- (4) Lillesand, Thomas, Ralph W. Kiefer, and Jonathan Chipman. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, 2014.

- Rouse Jr, J_W, et al. "Monitoring vegetation Systems in the Great Plains with ETRS." NASA spaecial publication 351 (1974): 309.
- Fernández-Manso, Alfonso, Oscar Fernández-Manso, and Carmen Quintano. "SENTINEL 2A red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 50 (2016): 170-175.
- Raynolds, Martha K., et al. "Relationship between satellite-derived land surface temperatures, arctic vegetation types, and NDVI." *Remote Sensing of Environment* 112.4 (2008): 1884-1894i.
- Fernández-Mansón, Alfonso, Oscar Fernández-Manso, and Carmen Quintano. "SENTINEL 2A red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformantion* 50 (2016): 170-175.
- Cansler, C. Alina, and Donald McKenzie. "How robust are burn severity indices when applied in a new region? Evaluation of alternate field-based and remote-sensing methods." *Remote sensing* 4.2 (2012): 456-483.
- Parks SA, Parisien M-A, Miller C, Dobrowski SZ (2014) Fire Activity and Severity in the Western US Vary along Proxy Gradients Representing Fuel Amount and Fuel Moisture. PLoS ONE 9(6): e99699. doi:10.1371/journal.pone.0099699
- CERRILLO, Rafael María Navarro. Evaluación de sensores de variables biofísicas mediante teledetección en pinares mediterráneos. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, 2013, 105:78-88.
- ESTRUCH BENITO, Francisco. *Análisis de la clorofil·la a en el agua a partir de una imagen multiespectral Quickbird en la zona costera de Gandia*. 2011. PhD Thesis.
- PARKS, Sean A., et al. *Previous fires moderate burn severity of subsequent wildland fires in two large western US wilderness areas*. *Ecosystems*, 2014, 17.1:29-42
- Doeer SH, Santi'n C. 2016. *Global trends in wildfire and its impact: perceptions versus realities in a changing world*. *Phil. Trans. Soc. B* 371:20150345.
- ISLA, R; LÓPEZ-LOZANO, R. Comparación de distintos índices de vegetación para detectar deficiencias de nitrógeno en maíz. *Revista de teledetección*, 2005, 24: 5-9.
- Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. *Servercat*. Recuperat 17 de Juny. <http://severicat.ctfc.cat/>
- European Spatial Agency. *Missions d'Observació de la Terra de l'ESA*. Recuperat 15 de Juny. http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth.
- Copernicus Observer. *SENTINEL 2A reaches operational status*. Recuperat 13 d'abril. http://newsletter.copernicus.eu/issue-13-april-2016/article/SENTINEL_2a-reaches-operational-status
- [NRM641RemoteSensing]. (17 d'Abril del 2014). Using Landast Sensor Data To Map Burned Areas. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=9P0MzIXzaPk>
- ICGC (2016) *Noves imatges de Catalunya del satèl·lit SENTINEL 2*. 25/06/2016, des de http://www.icc.cat/Home-ICC/Informacio-corporativa/Actualitat/Noves-imatges-de-Catalunya-del-satel·lit-SENTINEL_2

13 ANNEX

En aquest annex es mostren de forma dedicada els mapes que s'han generat en el marc de Treball de Fi de Màster i que representen els resultats.

